



Evaluación de los residuos orgánicos del exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) como alternativa de materia prima para la obtención de pectinas.

Andrea Aponte

Yamile Benavides Barrantes

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

ZONA CENTRO BOGOTÁ – CUNDINAMARCA

CEAD JOSÉ ACEVEDO y GÓMEZ

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingenierías – ECBTI

Bogotá – Colombia

2018

**Evaluación de los residuos orgánicos del exocarpio de pepino cohombro
(*Cucumis sativus*) y del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)
como alternativa de materia prima para la obtención de pectinas.**

Andrea Aponte

Yamile Benavides Barrantes

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Químico

Rafael Andrés Ramírez Alvarado

I.A MsC en ingeniería agrícola

Asesor

Línea de Investigación:

ANÁLISIS Y SÍNTESIS QUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

ZONA CENTRO BOGOTÁ – CUNDINAMARCA

CEAD JOSÉ ACEVEDO y GÓMEZ

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingenierías – ECBTI

Bogotá – Colombia

2018

DEDICATORIA

Hoy doy gracias a Dios por alimentar en mi sentimientos de paz, fortaleza, perseverancia, haciéndome permanecer firme y constante en mi manera de ser y obrar, logrando culminar el objetivo propuesto, a mi madre Rosalba y mi padre Guillermo quienes permitieron un día que yo existiera y creyeron en mi como una mujer con sueños y logros para cumplirlos, a mis hermanas que siempre estuvieron ahí presentes para brindar su apoyo incondicional a mi esposo Mauricio quien siempre se mantuvo constante y firme, a mi hija Daniela quien siempre conservo sus buenos hábitos de niña buena y juiciosa durante mi ausencia, a mi compañera Andrea por su apoyo, permanencia y acompañamiento durante este trayecto, familiares y amigos que pese a lejanía durante este tiempo siempre estuvieron presentes, a todos aquellos maravillosos seres que han compartido junto a mí sus enseñanzas y logros en estos años, así como quienes estuvieron ahí para darme una voz de aliento en los momentos difíciles.

YAMILE BENAVIDES BARRANTES

Agradezco a Dios por permitirme este logro profesional y guiar cada uno de mis pasos, a mis padres y hermanos estar siempre a mi lado apoyándome, a mi compañera Yamile Benavides por su compromiso y dedicación y finalmente a Cerescos S.A.S por contribuir en mi formación.

ANDREA APONTE CARDENAS

Agradecimientos

Este proyecto fue posible gracias a la colaboración del profesor Rafael Ramírez quien siempre nos prestó su apoyo y colaboración incondicional, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, quien nos brindó acceso a los laboratorios para desarrollar la investigación, al coordinador del laboratorio Bernardo Castro quien coordino y asignó los espacios en el laboratorio, a Roció Barrios quien facilitó la adquisición de algunos reactivos, a las distribuidoras CERES quienes suministraron los residuos de los frutos Pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y granadilla (*Passiflora ligularis*), para realizar la fase experimental, y en general a todas las personas que nos brindaron una ayuda para que se llevara a cabo esta investigación.

Resumen

En la presente investigación se realizó la evaluación de las sustancias pécticas provenientes del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y el mesocarpio granadilla (*Passiflora ligularis*), se empleó la metodología de identificación gravimétrica desarrollada por Kitner y Van Buren 1982 y la metodología colorimétrica desarrollada por Filisetti - Cozzi & cápita (1991) teniendo como patrón ácido galacturónico y tomando como variables pH y temperatura. En el método gravimétrico, la extracción se realizó mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico (HCl) en diferentes condiciones de pH (1,6 y 2,5) con tiempo de hidrólisis (60 y 80 minutos). La calidad de la pectina extraída se evaluó por medio del contenido de rendimiento en base húmeda, rendimiento en base seca, humedad, pH, grado de metoxilo, y el grado de esterificación y aplicando un análisis por espectroscopia de infrarrojo con el objetivo de identificar estructuras moleculares a partir de sus grupos funcionales.

Se empleó un diseño experimental factorial 2^3 el cual comprendió un total de 153 ensayos, los análisis de resultados se realizaron mediante el software STATGRAPHICS empleando ANOVA, también se realizó la evaluación de sostenibilidad económica y ambiental por medio del balance de masa, los resultados generados a partir de este proceso de investigación permitieron mostrar alternativas para el uso de residuos orgánicos en la producción de importantes materias primas en la industria como lo son las pectinas (Con, Campo-vera, Villada-castillo, & Meneses-ortega, 2016).

Se recolectaron residuos del exocarpio pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y mesocarpio para granadilla (*Passiflora ligularis*); para realizar el proceso de extracción y caracterización de pectina. Los mejores resultados para pepino cohombro (*Cucumis sativus*) fueron: rendimiento en base húmeda ($6,98 \pm 0,72\%$; pH 1,6, hidrólisis 80 minutos), rendimiento en base seca ($1,27 \pm 0,6\%$; pH 1,6, hidrólisis 80 minutos), humedad, ($0,53 \pm 0,39\%$; pH 2,5, hidrólisis 80 minutos) pH final de la pectina obtenida ($2,6 \pm 0,032$; pH 1,6, hidrólisis 40 minutos), % metoxilo ($12,11 \pm 0,17\%$; pH 1,6, hidrólisis 80 minutos), y el grado de esterificación ($81,48 \pm 0,97\%$; pH 1,6, hidrólisis 40 minutos).

Así mismo, los resultados en mesocarpio para granadilla (*Passiflora ligularis*) fueron: rendimiento en base húmeda ($84,03 \pm 5,75\%$; pH 1,6, hidrólisis 40 minutos), rendimiento en base seca ($5,69 \pm 0,14\%$; pH 1,6, hidrólisis 40 minutos), humedad, ($0,61 \pm 0,15\%$; pH 2,5, hidrólisis 80 minutos) pH final después de la extracción ($2,85 \pm 0,27$; pH 1,6, hidrólisis 80 minutos), porcentaje de metoxilo ($11,72 \pm 0,26\%$; pH 1,6, hidrólisis 80 minutos), y el grado de esterificación ($71,52 \pm 2,58\%$ pH 1,6, hidrólisis 80 minutos).

En el método colorimétrico los mayores porcentajes de concentración de miligramos de ácido galacturónico se presentan para pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) en condiciones de pH 1,6, tiempo de hidrólisis 40 minutos dando como resultado $2,67 \pm 0,08\%$ y el mesocarpio granadilla (*Passiflora ligularis*), el mayor porcentaje de concentración de miligramos de ácido galacturónico se generó con las siguientes condiciones, pH 2,5 tiempo de hidrólisis 40 minutos dando como resultado $2,91 \pm 0,034\%$.

El análisis de espectroscopia infrarrojo IR indicó que las muestras de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y el mesocarpio granadilla (*Passiflora ligularis*) contiene pectina similares a la muestra patrón trabajada (pectina cítrica), los porcentajes de diferencia entre los espectros se deben a la posible presencia de azúcares o carbohidratos como: inulinas o fructanos tipo inulina y lévianos producto del proceso de hidrólisis y separación.

Palabras clave: Ácido galacturónico, grado de esterificación, polisacárido.

Abstract

In the present investigation the evaluation of the pectic substances coming from the exocarp of the cucumber (*Cucumis sativus*) and the mesocarp granadilla (*Passiflora ligularis*) was carried out, the identification of the gravimetric identification developed by Kitner and Van Buren by Filisetti - Cozzi & capita (1991) having galacturonic acid as standard and taking as variables pH and temperature. In the gravimetric method, extraction was carried out by acid hydrolysis with hydrochloric acid (HCl) under different pH conditions (1.6 and 2.5) with hydrolysis time (60 and 80 minutes). The quality of the extracted pectin is evaluated by means of the moisture content, dry base performance, humidity, pH, methoxyl degree, and degree of esterification and application of infrared spectroscopy analysis with the aim of identifying Molecular structures. from its functional groups. A factorial experimental design 23 was used, which comprised a total of 153 trials, the analysis of results was carried out using the STATGRAPHY software using ANOVA, the evaluation of the economic and environmental sustainability in the middle of the mass balance was also performed, the results generated by this research process allowed us to show the use of the media in the production of raw materials in the industry such as pectins (Con, Campo-vera, Villada-castillo, and Meneses-ortega, 2016). Residues were collected from the exocarp cucumber cucumber (*Cucumis sativus*) and mesocarp for granadilla (*Passiflora ligularis*); To perform the pectin extraction and characterization process. The best results for cucumber cucumber (*Cucumis sativus*) were: yield on wet basis ($6.98 \pm 0.72\%$, pH 1.6, hydrolysis 80 minutes), yield on dry basis ($1.27 \pm 0.6\%$; pH 1.6, hydrolysis 80 minutes), humidity, ($0.53 \pm 0.39\%$, pH 2.5, hydrolysis 80 minutes) final pH of pectin (2.6 ± 0.032 , pH 1.6, hydrolysis 40 minutes),% methoxyl ($12.11 \pm 0.17\%$, pH 1.6, hydrolysis 80 minutes) and the degree of esterification ($81.48 \pm 0.97\%$, pH 1.6,hydrolysis 40 minutes).

Likewise, the results in mesocarp for passion fruit (*Passiflora ligularis*) were: performance on a humid basis ($84.03 \pm 5.75\%$, pH 1.6, hydrolysis 40 minutes), yield on dry basis (5.69 ± 0 ,

14%, pH 1.6, hydrolysis 40 minutes), humidity, ($0.61 \pm 0.15\%$, pH 2.5, hydrolysis 80 minutes) Final pH after extraction (2.85 ± 0.27 ; 1.6, hydrolysis 80 minutes), percentage of methoxyl ($11.72 \pm 0.26\%$, pH 1.6, hydrolysis 80 minutes), and the degree of esterification ($71.52 \pm 2.58\%$ pH 1.6, hydrolysis 80 minutes).

In the colorimetric method, the highest percentages of milligram concentration of galacturonic acid are presented for pectin obtained from the exocarp of cucumber (*Cucumis sativus*) under conditions of pH 1.6, hydrolysis time 40 minutes resulting in $2.67 \pm 0.08\%$ and the mesocarp granadilla (*Passiflora ligularis*), the highest percentage of milligram concentration of galacturonic acid was generated with the following conditions, pH 2.5 hydrolysis time 40 minutes resulting in $2.91 \pm 0.034\%$.

IR infrared spectroscopy analysis indicated that samples of pectin obtained from the exocarp of cucumber (*Cucumis sativus*) and the mesocarp granadilla (*Passiflora ligularis*) contain pectin similar to the standard sample worked (citrus pectin), the percentages of difference between the spectra are due to the possible presence of sugars or carbohydrates such as: inulins or inulin fructans and levans product of the process of hydrolysis and separation.

Key words: Galacturonic acid, degree of esterification, polysaccharide.

Índice de contenido

Introducción	16
2. Marco conceptual	19
2.1 Propiedades fisicoquímicas	19
2.2 Uso de las pectinas	21
2.3 Aplicación en diferentes industrias	24
2.4 Metodologías de extracción.....	26
2.5 Balance de masas del proceso de extracción	28
2.6 Análisis matemático y financiero	29
2.7 Evaluación de sostenibilidad económica y ambiental	31
3. Planteamiento del problema	32
4. Objetivo General.....	34
4.1 Objetivos Específicos	34
5. Materiales y métodos	35
5.1 Extracción	36
6. Diseño Experimental	40
6.1 Análisis experimental	42
6.2 Variables de ensayo	42
6.2.1 Rendimiento	42
6.2.2 Humedad	42
6.2.3 Contenido de metoxilo	43
6.2.4 Determinación del grado de esterificación	43
6.2.5 pH	44
6.2.6 Análisis de espectro infrarrojo	44
6.2.7 Porcentaje de ácido anhidro-galacturónico.....	44
7. Resultados y discusión	45
7.1 Pruebas preliminares con método de identificación gravimétrico	45
7.2 Resultado Pruebas Preliminares	45
7.2.1 Hidrólisis de las frutas acondicionadas con y sin mesocarpio (cáscara):	45
7.2.2 Precipitación de pectina usando diferentes volúmenes de etanol al 96 %	47
7.3 Caracterización pectina comercial	48
7.4 Rendimiento en pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>) empleando el método de identificación gravimétrico	49
7.4.1 Contenido de humedad y pH.....	55
7.4.2 Grado metoxilo.....	60
7.4.3 Grado de esterificación	63
7.5 Rendimiento en granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) método de identificación gravimétrico	65
7.5.1 Contenido de humedad y pH.....	70
7.5.2 Grado de Metoxilo	75
7.5.3 Grado de esterificación	77
7.6 Determinación colorimétrica concentración método 2 colorimétrico en pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>)	80

7.6.1 Concentración método 2 colorimétrico en granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>)	82
7.6.2 Análisis IR	84
7.6.2.1 Comparación química de resultados	89
7.7 Resultados del balance de masas	90
7.7.1 Granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) pH 1,6 – H 40 min.	92
7.7.2 Punto de equilibrio Granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) pH 1,6 – H 40 min.	96
8. Conclusiones	99
9. Recomendaciones.....	101
10. Referencias Bibliográficas.....	102
11. Anexos.....	108
11.1 Curva de calibración.....	108

Índice de Tablas

Tabla 1 Taxonomía en pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>) y granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>)	20
Tabla 2 Relación de frutos y métodos utilizados para la extracción de pectina.....	22
Tabla 3 Protocolo de Identificación por el método gravimétrico.....	36
Tabla 4 Preparación de soluciones.....	37
Tabla 5 Curva de calibración	38
Tabla 6 Hidrolización de paredes celulares.....	38
Tabla 7 Desarrollo del ensayo.....	39
Tabla 8 Diseño experimental método gravimétrico	40
Tabla 9 Diseño Experimental método colorimétrico.....	41
Tabla 10 Rendimiento de exocarpio y mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	45
Tabla 11 Rendimiento del exocarpio y endocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	46
Tabla 12 Ensayo precipitación de pectina obtenida a partir de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) con etanol.....	47
Tabla 13 Ensayo precipitación obtenida a partir de pectina de pepino (<i>Cucumis sativus</i>).....	48
Tabla 14 Resultados de Humedad (%) en pectina comercial cítrica.....	48
Tabla 15 Rendimiento (base húmeda%) de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro <i>Cucumis sativus</i>).....	51
Tabla 16 Optimización de la variable rendimiento en base humedad en pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	52
Tabla 17 Rendimiento (base seca%) de pectina a partir del exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	53
Tabla 18 Optimización variable Rendimiento (base seca %) del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	54
Tabla 19 Humedad (%) del exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	55
Tabla 20 Humedad (%) de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	56

Tabla 21 Optimización de la variable humedad.....	57
Tabla 22 Resultados de pH de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	58
Tabla 23 Optimización de la variable pH del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	60
Tabla 24 Contenido de metoxilo (%) de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro(<i>Cucumis sativus</i>).....	61
Tabla 25 Optimización variable contenido de metoxilo en pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	63
Tabla 26 Grado de esterificación (%) de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	63
Tabla 27 Optimización variable grado de esterificación en pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	65
Tabla 28 Rendimiento (base húmeda %) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	66
Tabla 29 Optimización variable rendimiento en base húmeda de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	67
Tabla 30 Rendimiento (base seca %) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	68
Tabla 31 Optimización variable rendimiento en base seca de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	69
Tabla 32 Contenido de humedad mesocarpio de la gradilla (<i>Passiflora ligularis</i>) natural.....	71
Tabla 33 Humedad (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	71
Tabla 34 Optimización variable humedad de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	73
Tabla 35 pH de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	73
Tabla 36 Optimización de la variable pH final.....	75
Tabla 37 Contenido de metoxilo (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de la granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	75
Tabla 38 Optimización variable contenido de metoxilo en granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	77

Tabla 39 Grado de esterificación (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	78
Tabla 40 Optimización variable contenido de metoxilo en granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	80
Tabla 41 Determinación de la concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 de exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	80
Tabla 42 Optimización de la concentración de AUG en de pepino (<i>Cucumis sativus</i>).....	81
Tabla 43 Determinación de la concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 en mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	82
Tabla 44 Optimización de la concentración de AUG en La granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	83
Tabla 45 Comparación de resultados de las variables fisicoquímicas analizadas.....	84
Tabla 46 Comparación de resultados analíticos químicos de la pectina obtenida.....	90
Tabla 47 Relacion de los items a tener encuesta para los costos variables y los costos fijos.....	92
Tabla 48 Relación de los costos combinados de acuerdo a las condiciones de cada proceso.....	97

Índice de Figuras

Figura 1 Estructura del fruto exocarpio y mesocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>) y granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	19
Figura 2 Análisis colorimétrico pectina cítrica	27
Figura 3 Método identificación gravimétrica (método de hidrólisis ácida).....	28
Figura 4 Método Colorimétrico.....	29
Figura 5 Punto de equilibrio.....	30
Figura 6 Pectina húmeda obtenida a partir de la cascara y mesocarpio de la granadilla.....	46
Figura 7 Contenido metoxilo en la pectina comercial.....	49
Figura 8 Diagrama de superficie: Rendimiento (base húmeda %) a partir de pectina obtenida del exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	52
Figura 9 Diagrama de superficie: Rendimiento (base seca %) a partir de exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	54
Figura 10 % Humedad del exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>) natural.....	56
Figura 11 Diagrama de superficie: Humedad (%) a partir de exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	57
Figura 12 Diagrama de superficie: pH final obtenido a partir de exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	59
Figura 13 Diagrama de superficie: Metoxilo obtenido a partir de exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	62
Figura 14 Diagrama de superficie: Grado de esterificación (%) obtenido a partir de exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	64
Figura 15 Diagrama de superficie: Rendimiento (base húmeda %) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	67
Figura 16 Diagrama de superficie: Rendimiento (base seca %) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	69
Figura 17 Rendimiento de la pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) en base seca y en base humedad.....	70

Figura 18 Humedad (%) en el mesocarpio de la granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) natural.....	71
Figura 19 Diagrama de superficie: humedad (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	72
Figura 20 Diagrama de superficie: pH de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	74
Figura 21 Diagrama de superficie: Contenido de metoxilo (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	76
Figura 22 Diagrama de superficie: Grado de esterificación (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>)	79
Figura 23 Diagrama de superficie: Concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 de exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>).....	81
Figura 24 Diagrama de superficie: Concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 de mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>).....	82
Figura 25 Análisis IR en pectina cítrica comercial.....	86
Figura 26 Análisis de IR en pectina obtenida a partir de exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>) a pH 2,5, hidrólisis: 80 minutos.....	86
Figura 27 Análisis de IR en pectina obtenida a partir de exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>) a pH 1,6 hidrólisis: 40 minutos.....	87
Figura 28 Análisis IR en pectina obtenida a partir de mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) pH 2,5 hidrólisis 80minutos.....	88
Figura 29 Análisis IR en pectina obtenida a partir de mesocarpio de granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) pH 1,6 hidrólisis 40 minutos.....	88
Figura 30 Balance de masa mesocarpio granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) (pH 1,6 Hidrólisis 40).....	93
Figura 31 Grafica punto de equilibrio mesocarpio granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) (pH 1,6 Hidrólisis 40).....	96
Figura 32 Curva de calibración 1 AGA pectinas	108

Introducción

Los productos naturales han tomado importancia debido a sus beneficios para la salud y la fabricación de productos, uno de estos productos es la pectina constituida principalmente por ácido galacturónico, y que gracias a sus propiedades gelificantes y de absorción, se emplean en las industrias de alimentos, cosméticos y farmacéuticos (Silva, Benites, & Gomero, 2008).

Para el desarrollo de este proyecto se empleó el exocarpio pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y mesocarpio de la granadilla (*Passiflora ligularis*), la granadilla es una planta perteneciente a la familia *Passifloraceae* originaria de los Andes, sus nombres comunes pueden variar: "granada china" o "granada de moco". El fruto usualmente es de color naranja, dorado, pardo o amarillo con pequeñas pintas (Factores, 2016).

Según la Encuesta Nacional agropecuaria, (Dane, 2016), durante el año 2015 en Colombia se obtuvo una producción de 49.353 toneladas de granadilla, con rendimientos promedios de 9,3 toneladas por hectárea al año; el departamento del Huila fue el principal productor con 29.854 toneladas, seguido por los departamentos de Antioquia, Nariño y Cundinamarca, entre otros (Factores, 2016).

El pepino cohombro, es una especie que pertenece a la familia *Cucurbitaceae*, es una planta herbácea, anual y rastrera cubierta de tricomas, de raíces fasciculadas y desarrollo bastante superficial, encontrándose la mayor concentración de raíces entre los 25 y 30 cm. La producción de pepino cohombro en Colombia está concentrada principalmente en los departamentos de Valle del Cauca y Santander, con 256 y 157 toneladas; lo cual corresponde al 77% del área cultivada a nivel nacional (Invernadero & De, n.d.) (Pagan & Gilabert, 1999).

Teniendo en cuenta que en la industria colombiana la totalidad de la pectina es importada como materias pécticas, pectinatos y pectatos, según las necesidades de los productos a desarrollar, se requiere evaluar fuentes potenciales de materia prima nacionales que permitan la obtención de estos productos, priorizando aquellas que puedan generarse a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos.

La principal aplicación de las pectinas en la industria de alimentos es la fabricación de compotas y mermeladas; se utiliza también como agente gelificante en pudines, estabilizante de emulsiones, suspensiones, agente viscosante en bebidas, agente estabilizante en helados, postres fríos, en soluciones para recubrir salchichas y carnes enlatadas.

En el campo farmacéutico las pectinas se emplean por su acción protectora y reguladora del sistema gastrointestinal, su acción desintoxicante, anticolesterol, inmunológica, antihemorrágica, anticancerígena y cicatrizante; prolonga la acción terapéutica al aumentar los tiempos de liberación de los principios activos; así mismo, las pectinas son utilizados en la formación de películas para recubrir papel y dar características de suavidad, para aplicar en las radiografías por rayos X, en la fabricación de películas biodegradables en forma de mezclas de pectina y alcohol polivinílico como reemplazantes de derivados del petróleo; estas películas son biodegradables, reciclables y permitidas para formas farmacéuticas de liberación prolongada y como protectores o adhesivos en preparaciones farmacéuticas para la piel (Silva et al., 2008).

De acuerdo con (Edith, Soler, Edith, & Soler, 2016) se evidencia que el precio de pectina por kilogramo puede oscilar entre \$70.000 y \$80.000 COP. El consumo anual estimado de pectinas a nivel mundial es de 45.000 T, con un valor global de por lo menos 400 millones de euros. En Colombia se importan aproximadamente 436 T por año, con un valor de US\$3.847.404 de acuerdo a las estadísticas de la Dian en el 2010 (Edith et al, 2016).

En el 2014 el mercado global de productos cosméticos de origen natural y orgánico fue de alrededor de \$ 33 mil millones, donde Brasil y el Pacífico de Asia fueron las regiones de más rápido crecimiento, siendo los productos para el cuidado de la piel los más demandados. En América Latina y Colombia está bien posicionada la producción y exportación de productos de maquillaje, cabello y limpieza. Sin embargo, estos productos tienen una presencia limitada en mercados atractivos como Europa, América del Norte, Asia Oriental y Asia Meridional. De manera similar los resultados de producción y exportación de Colombia en ingredientes naturales para uso cosmetológico también se reducen. En América Latina, este mercado ha sido liderado por Brasil y México, seguido por Chile y Perú. La participación de Colombia en

el mercado de ingredientes naturales en la región no supera el 3% (“Colombian biodiversity, an opportunity for the strengthening of the pharmaceutical and cosmetic industries,” n.d.).

Se espera que esta investigación ayude a incentivar el uso de nuevas materias primas, para la producción de insumos, que no se generan en el país, sumado a la utilización integral de las frutas, disminuyendo de esta forma el impacto potencial generado por la acumulación de residuos orgánicos (Edith et al., 2016).

2. Marco conceptual

2.1 Propiedades fisicoquímicas

La pectina, es un polímero lineal compuesto por residuos de ácido D galacturónico unidos por enlaces 1,4. Algunos de estos residuos pueden estar, hasta cierto punto, metilesterificados en el grupo ácido carboxílico y / o puede llevar grupos de acetilo en C-2 y C-3 (Martínez-trujillo, Aranda, Gómez-sánchez, Trejo-aguilar, & Aguilar-osorio, 2009).

Las propiedades estabilizantes y emulsionantes de la pectina han demostrado que en condiciones controladas de pH, concentración, fuerza iónica y temperatura forma soluciones viscoelásticas y redes estructuradas ampliamente exploradas en la preparación de alimentos, ya que son estabilizadores que contribuyen positivamente en las propiedades del sabor de los productos (Gho *et al.*, n.d.2006)(Universidad eafit, 2012)(abid *et al.*, 2016) (universidad eafit, 2012)(faria, albano, & nicoletti, 2017).

A continuación se relaciona la estructura de la hortaliza y fruta trabajadas, de los cuales se utilizaron las siguientes partes del fruto para pepino cohombro (*Cucumis sativus*) exocarpo y para granadilla (*Passiflora ligularis*) mesocarpo, como se observa en la figura 1. Así mismo se puede evidenciar la taxonomía tanto de la hortaliza como de la fruta utilizada en la tabla 1.

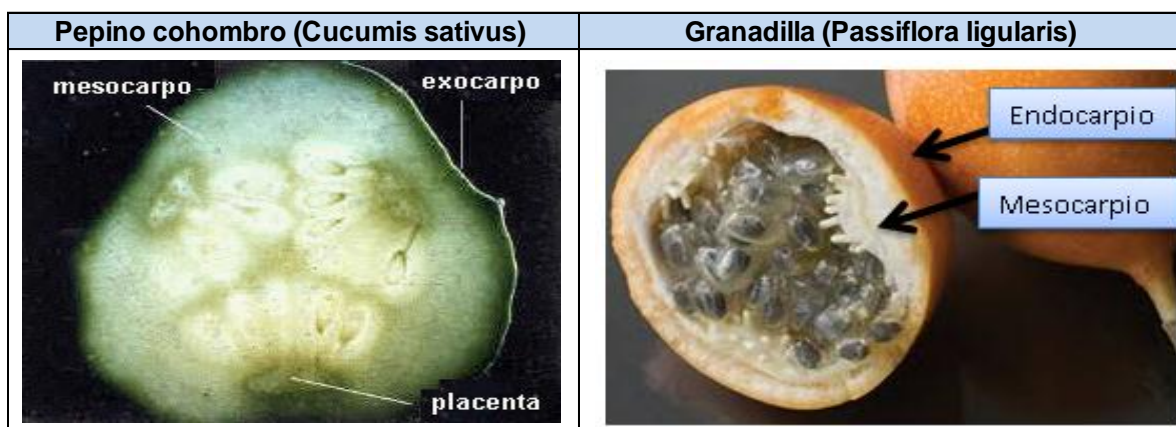


Figura 1 Estructura del fruto exocarpo y mesocarpo del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y granadilla (*Passiflora ligularis*).

Tomado de: http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema6/6_5cla-carnosos.htm - <https://peru.com/estilo-de-vida/vida-sana/granadilla-8-beneficios-que-debes-conocer-noticia-365701>

Tabla 1 Taxonomía del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y granadilla (*Passiflora ligularis*)

Taxonomía	Granadilla	Pepino
Reino	Vegetal	Plantea
División	Angiosperma	Magnoliophyta
Clase	Dicotiledónea	Magnoliopsida
Orden	Parietales	Violales
Familia	Passifloraceae	Cucurbitácea
Genero	Passiflora	Cucumis
Especie	<i>Passiflora ligularis</i>	<i>Cucumis sativus</i> L.

Tomado de <http://sweetgum.nybg.org/science/projects/osa/taxon-details/?irn=157458> - http://sweetgum.nybg.org/science/vh/specimen_details.php?irn=279461

Los pepinos contienen gran cantidad de agua, la cual se encuentra en la pulpa, el exocarpio contiene un alto porcentaje de vitamina A, contienen numerosos antioxidantes, incluyendo la vitamina C y betacarotenos, también contienen flavonoides antioxidantes, como la quercetina, luteolina y kaempferol, que brindan beneficios adicionales. Por ejemplo, la quercetina es un antioxidante con propiedades asociadas con la prevención de la liberación de histamina, lo que hace a los alimentos ricos en quercetina unos "antihistamínicos naturales" mientras que el kaempferol podría ayudar a combatir el cáncer y reducir su riesgo de enfermedades crónicas, incluyendo las enfermedades cardíacas, esta planta es utilizada para tratar el dolor de cabeza, las semillas son refrescantes y diuréticas, el jugo de esta planta se utiliza como humectante y emoliente en cremas anti-acné. fomentan el equilibrio ácido/ básico en el organismo, y es una excelente fuente de vitaminas antioxidantes C y A, folatos, manganeso, molibdeno, potasio, sílice, azufre y vitaminas del grupo B, pero en pequeñas cantidades, sodio, calcio, fósforo y cloro; la pulpa contiene ácido cafeico ayudando a prevenir la retención de líquidos. ("Evolución_ diabetes y los alimentos protectores," n.d.).

Los diferentes usos reportados por los campesinos del departamento del Huila, situado sobre la cordillera de los Andes, al sur de Colombia; su uso se relacionan con la oferta agrícola y la disponibilidad de recursos técnicos para su aprovechamiento; así mismo para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria y la diversificación de la economía campesina; la granadilla es antiparasitaria, diurética y estimulante de la función de leche materna, también puede usarse como anti anémico, ya que es muy nutritiva, especialmente para los niños; algunas de las vitaminas y minerales que tiene la granadilla son vitamina C, hierro, carotenos, vitamina B, potasio, calcio, magnesio y fósforo, de ahí que ayude a prevenir enfermedades respiratorias y a fortalecer el sistema inmunológico, según estudios realizados en la Universidad de California, el jugo de granadilla logró frenar el desarrollo de tumores en pacientes con cáncer de próstata que tomaron esta bebida diariamente y por un periodo largo. (“Relationship between the folk uses of the granadilla plant (*passiflora ligularis* juss) and its phytochemical composition,” n.d.).

2.2 Uso de las pectinas

Cuando se consume pectina de forma regular, se obtiene un efecto benéfico en la salud ya que disminuye los niveles séricos de lípidos y glucosa, ayudando a prevenir enfermedades como diabetes y dislipidemias, en grupos poblacionales donde los carbohidratos prevalecen en la dieta diaria debido a su bajo costo y fácil disponibilidad (Ortiz & Anzola, n.d.).

Las pectinas se clasifican según su grado de esterificación de acuerdo con el porcentaje (%) de metoxilo. Las pectinas con más del 50% de los grupos carboxilos metilados, forman geles con soluciones ricas en azúcares (60-70%) con un pH entre 2,8 - 3,5; por el contrario, las de bajo metoxilo se encuentran con menos del 50% de los grupos carboxilos metilados y los geles se forman por entrecruzamiento de los iones calcio (Curbelo Hernandez, Moreno Quintero, Ramirez Hernandez, & Crespo Zafra, 2016).

Una de las características químicas de las pectinas es el grado de metoxilación, es decir; tener la capacidad de fácil gelificación, y un alto contenido de ácido galacturónico, el cual se

relaciona con la pureza de extracción de cada fruto, y esto puede variar ya que se debe tener en cuenta que la pectina viene acompañada de azúcares neutros.

El componente dominante de las pectinas es el ácido galacturónico con azúcares neutros como galactosa, arabinosa, ramnosa y xilosa, existen fuentes principales de pectina disponible en el mercado entre ellas: pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y granadilla (*Passiflora ligularis*) (Burana-osot, Soonthornchareonnon, Chaidedgumjorn, Hosoyama, & Toida, 2010). (Marcon, Vriesmann, Wosiacki, Beleski-Carneiro, & Petkowicz, 2005), así mismo de acuerdo a la bibliografía se pueden evidenciar extracción de pectina en diferentes frutos como se observa en la tabla 2.

Tabla 2 Relación de frutos y métodos utilizados para la extracción de pectina.

FRUTA	METODO	OBSERVACIONES	AÑO	REFERENCIA
Mandarinas	Hidrólisis ácida	Pulpa	1964	(“Extraccion de pectinas en mandarinas.pdf,” n.d.1964)
Frambuesa	Solidos insolubles en alcohol	Fruta fresca y congelada	1995	(“Extracin de pectinas arandanos y frambuesa,” n.d.)
Arándanos	Solidos insolubles en alcohol	Fruta fresca y congelada	1995	(“Extracin de pectinas arandanos y frambuesa,” n.d.)
Limones	Hidrólisis ácida	Obtenida de la corteza	1996	(Aparicio, Ferrer, Ferrer, Peña, & Cedeño, 1996)
Parchita	Hidrólisis ácida	Cascara	2008	(D’Addosio <i>et al.</i> , 2008)
Cacao	Método enzimático	Cascara	2008	(“La cáscara de cacao (Theobroma cacao L,” n.d.)
Plátano	Hidrólisis ácida	Cascara	2008	(Vasquez, Ruesga, Daddosio, Páez, & Marín, 2008)
Aguas Mielés del Café	Hidrólisis ácida	Residuos agroindustriales	2009	(Salvador <i>et al.</i> , 2009)
Uva	Hidrólisis ácida	Dos niveles de	2009	(“extracción de pectinas de

FRUTA	METODO	OBSERVACIONES	AÑO	REFERENCIA
		madurez		vitis labrusca cv,” n.d.2009)
Maushan	Hidrólisis ácida	Con dos índices de madurez	2010	(S, Ácida, Frutos, & Huconcellea, n.d.2010)
Guayaba	Hidrólisis ácida	Diferentes genotipos de Guayaba	2010	(Chacín, Marín, & D’Addosio, 2010)
Maracuyá	Hidrólisis ácida	Cascara	2010	(“Journal boliviano de ciencias - bobtención de pectina a partir de la cascara de maracuyá mediante hidrólisis ácida-b,” n.d.)
Nopal	Hidrólisis ácida	Se trabaja utilizando varios ácidos como el sulfúrico, clorhídrico tartárico y cítrico.	2011	(Aza Espinosa & Méndez Arellano, 2011)
Naranja	Hidrólisis ácida	Cascara	2011	(Cerón-Salazar & Cardona-Alzate, 2011)
Pitaya	Hidrólisis ácida	Fruto	2012	(“extraccion pectina pitaya ,” n.d.2012)
Cocona	Hidrólisis ácida	Pulpa	2013	(Nacional, Centro, & Perú, 2013)
Higo	Hidrólisis ácida	Fruto en tres estados de maduración, verde, madurez intermedia y maduro	2015	(Chaparro, Márquez, Sánchez, Vargas, & Gil, 2015)
Manzana	Hidrólisis ácida	Pulpa	2016	(“metodo de extracion de pectina manzana,” n.d.)
Sancayo	Hidrólisis ácida	Pulpa	2017	(William glademir nina paucar, 2017)
Galupe	Hidrólisis ácida	Cascara	2017	(Claudia & Mora, 2017)

Fuente: Autores

Las sustancias pécticas son conocidas por contribuir a la adhesión entre las células y al mecanismo de fuerza de la pared celular, a través de su habilidad para formar geles estabilizantes, cumplen un papel muy importante en el crecimiento de las células de las plantas tienen polímeros con cadenas de 300 a 1000 unidades de ácido galacturónico sus propiedades funcionales dependen en gran medida de factores intrínsecos como el peso molecular, grado de esterificación, pH, sales disueltas y presencia de azúcar, a su vez estas variables dependen de la materia prima, estado de madurez del fruto y de las condiciones de fabricación.

La importancia de las pectinas en varios procesos del desarrollo vegetal ha sido ampliamente estudiada (Salazar & Gamboa, 2013). Las características de la pared celular, tal como rigidez o relajación, dependen en gran medida del grado de metil esterificación de las pectinas, los constantes cambios estructurales de uno de los componentes de las pectinas son los homogalacturonanos, a consecuencia de la actividad de pectin metil esterasas, poligalacturonasas, generan cambios locales en las características mecánicas de la pared celular que son fundamentales para el desarrollo vegetal (Salazar & Gamboa, 2013) (Cerón-Salazar & Cardona-Alzate, 2011).

Teniendo en cuenta los estudios realizados, la primera producción comercial de un extracto líquido de pectina se registró en 1908 en Alemania, posteriormente el proceso se extendió a Estados Unidos, donde se obtuvo una patente clásica (Patente de los Estados Unidos 1.082.682, 1913). En los últimos años, el centro de producción se trasladó a Europa y a países productores de cítricos como México y Brasil, actualmente se producen cambios en la estructura y ubicación de la industria, pero se ven limitados por la necesidad de grandes inversiones de capital para establecer una planta de tamaño económicamente viable y la necesidad de una fuente o varias fuentes de materia prima a gran escala (Ippa, 2001).

2.3 Aplicación en diferentes industrias

En cuanto a las alternativas económicas, se encuentran directamente relacionadas con el aprovechamiento de los residuos orgánicos los cuales son desechados por las mismas

industrias sin generar ningún tipo de utilidad; como alternativa se han realizado estudios sobre extracción de pectinas a partir de residuos, encontrado diferentes tipos de usos para las industrias de farmacéuticos, alimentos y cosmético a continuación se relacionan algunos estudios empleados para las diferentes industrias.

(Faria et al., 2017) Caracterizaron de forma individual, el aislado de proteína de soya y pectina con alto contenido de metoxilo, y los complejos formados por ambos en diferentes proporciones de pH, fueron importantes para la aplicación de alimentos como estabilizadores.

En el estudio (“Extraction of pectin from prickly pear opuntia ficus indica and its application in the development of a pineapple sweet,” n.d.), se realizó la extracción de pectina en el fruto de higo el cual se empleó en la elaboración de un dulce tradicional de piña, se realizó el análisis bromatológico y la extracción de pectina del fruto de higo en tres estados de maduración: verde, madurez intermedia y madura, con resultados concordantes, con otros estudios previos; el rendimiento de la extracción de la pectina en estado verde fue de 9,14%, con un grado de esterificación del 62%, lo que indica que es una pectina de alto metoxilo y gelificación lenta, apta en la industria alimentaria, para la elaboración de conservas, como mermeladas y dulces.

La pectina se encuentra inscrita en la FDA como un aditivo seguro sin límites de consumo diario, por lo que ha sido ampliamente utilizada como excipiente en la formulación de comprimidos matriciales, geles, cubiertas de formas farmacéuticas, etc.

En la Industria de alimentos, las pectinas proporcionan la elasticidad, estructura y realce natural del sabor inherente de la fruta y permite un corte liso y brillante. Las pectinas tienen un gran potencial de aplicación en el campo de confitería, jaleas de fruta, gomas de fruta, rollos de fruta delicados, crema artificial de postre y rellenos para bombones. Los preparados de fruta de productos lácteos ácidos requieren pectina, ya que garantiza una regular distribución de la fruta en el contenedor debido a su punto de producción, una mezcla

homogénea con el producto lácteo fermentado y una buena duración del producto final. l(Pectina et al., 2017).

En la industria tabacalera, especialmente la pectina es usada como un pegamento natural para los envoltorios de cigarros, estos ejemplos demuestran el potencial de desarrollo de pectina y las posibilidades y ocasiones que esperan en el futuro, también se utiliza pectina en medios de cultivo en microbiología, conservación del suelo, alimentación animal (Pectina et al., 2017).

De acuerdo con (Curbelo Hernandez et al., 2016), uno de los estudios realizados en el aprovechamiento de los residuos orgánicos es el realizado en el Aloe vera; la producción, industrialización y comercialización el cual se llevó a cabo en muchos países latinoamericanos, debido a sus múltiples propiedades medicinales, la sábila (*Aloe vera*) se ha convertido en un material de gran importancia en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, la cantidad de residuos agroindustriales generados en el procesamiento de la hoja entera de Sábila (*Aloe vera*) y que se consideran desperdicios, pueden ser racionalmente empleados para la extracción de materias primas que como la pectina pueda ser empleada en la producción de alimentos o productos farmacéuticos.

2.4 Metodologías de extracción

La metodología gravimétrico desarrollada por Kitner y Van Buren (1982) y la metodología colorimétrica desarrollada por Filisetti-Cozzi and cápita (1991) las cuales fueron utilizadas en éste trabajo, La caracterización de las pectinas obtenidas se puede corroborar mediante la espectroscopia UV-Vis, esta se basa en el análisis de la cantidad de radiación electromagnética (en el rango de longitudes de onda del ultravioleta y visible) que puede absorber o transmitir una muestra en función de la cantidad de sustancia presente, todas las técnicas de absorción suponen que cuando una radiación incide sobre una muestra se produce una absorción parcial de esta radiación, lo que hace que se produzca una transición entre los niveles energéticos de la sustancia: átomo, molécula, ión (X pasando esta al estado excitado, X*), el resto de radiación es transmitida, así analizando una u otra podemos relacionar la

cantidad de especie activa presente en la muestra..

El mayor pico de absorción para las pectinas se encuentra a 520 nm como se puede observar en la figura 2, generalmente los grupos funcionales que permiten la identificación de pectinas son los OH, ya que existen muchos grupos OH en la molécula de la pectina. (Galván Iván, Martínez Cristina Sarai, Jiménez Edith, & Concha José, 2016)

En la investigación realizada por Aviña Galván Iván, se indica que el mayor rendimiento de pectina total en las muestras de pepino se encontró en la piel, ya que mucha de la fibra que puede contener este fruto es sin duda en su cáscara (Galván Iván et al., 2016).

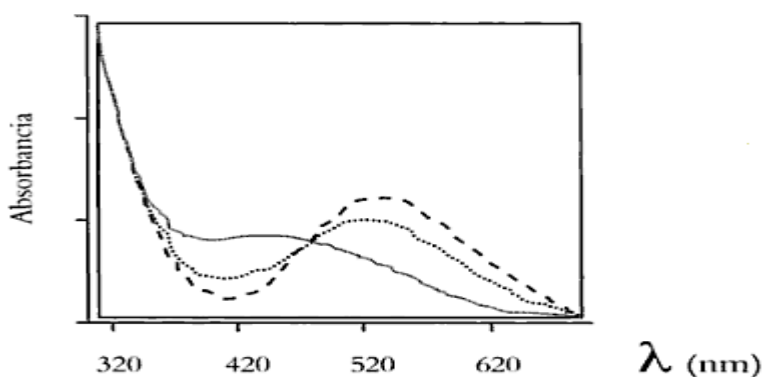


Figura 2 Análisis colorimétrico pectina cítrica. Tomada de: <http://3.bp.blogspot.com/-brgq0zukstq/ufdcuz7vcri/aaaaaaaamvm/x0wfuwdk4j0/s1600/el+color+en+los+vinos.png>

Para que la radiación electromagnética interaccione con la materia debe tener una longitud de onda (λ) del mismo tamaño o menor que las dimensiones del cuerpo irradiado, es por ello que la radiación de la región ultravioleta ($\approx 1\text{-}400\text{ nm}$) nos permite obtener información de las transiciones electrónicas de las moléculas (Química, 2010). La forma de onda del generador de frecuencia convierte la radiación electromagnética de uno o más, los diodos láser de forma de onda continua a onda de pulso forman y mantienen la radiación electromagnética de uno o más diodos emisores de luz en forma de onda continua; además, el generador de frecuencia está configurado para provocar la emisión de un campo electromagnético.

2.5 Balance de masas del proceso de extracción

El balance de masas es una contabilidad de entradas y salidas en un proceso o de una parte de éste, donde la ley de conservación de la masa expresa “La masa no se crea ni se destruye”, es importante calcular el tamaño de los equipos de un proceso que se emplean y por ende para evaluar sus costo, especificando el sistema al cual se le aplicará dicho balance, o definir el sistema al que se le realizará el balance, proporcionando mayores oportunidades de generar o producir pectinas, ya que conocen la problemática, donde primero cumplen el costo de la inversión y así mismo puede generar productos a menores costos, en las figuras 3 y 4 se presenta el procedimiento para realizar el análisis gravimétrico y colorimétrico respectivamente. (“Semninario Regional de Consulta Sobre Situacion Actual Del Beneficiado de ,” n.d.).

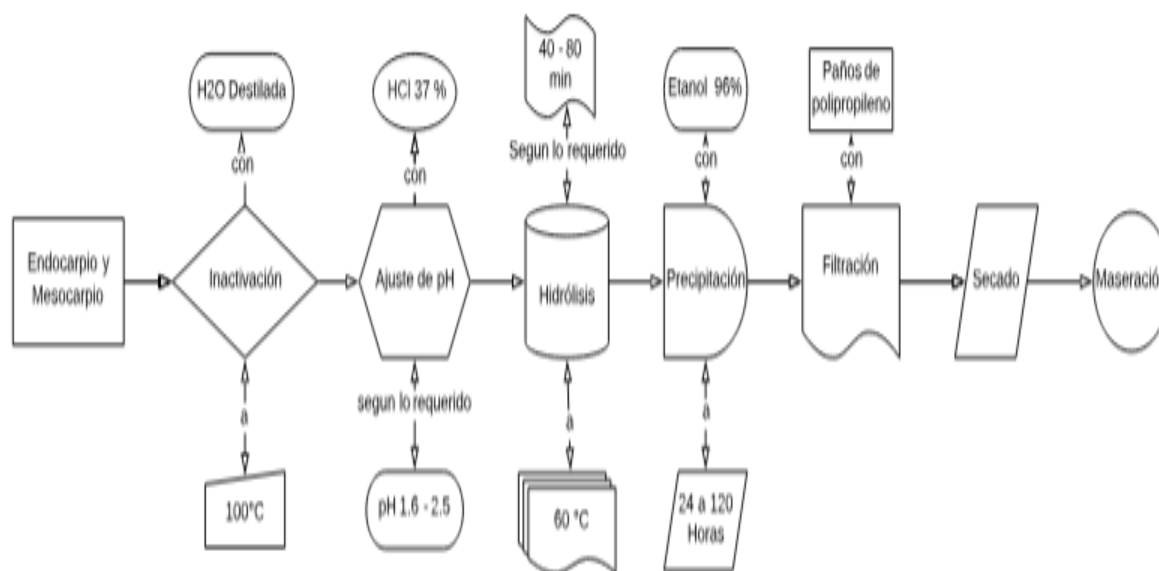


Figura 3 Método identificación gravimétrica (método de hidrólisis ácida) (“Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar undiseño general del proceso de producción,” 2012).

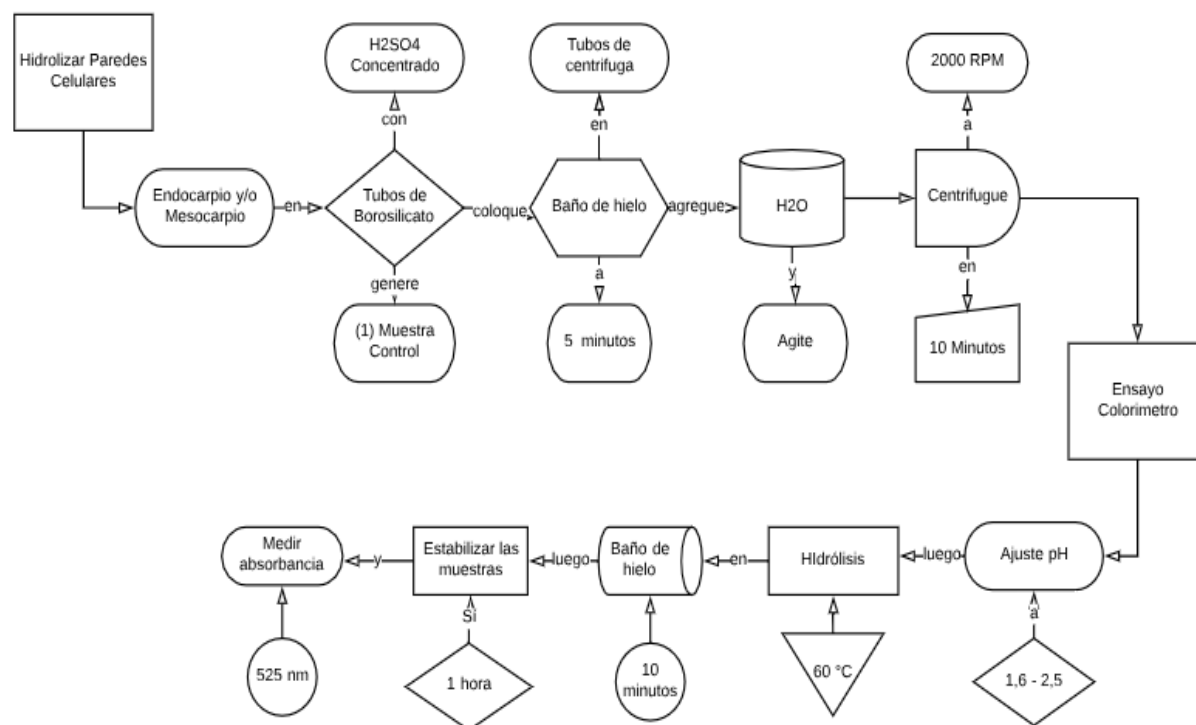


Figura 4 Método Colorimétrico (“Determination of the uronic acid content of plant cell walls using a colorimetric assay.pdf,” n.d.).

En la Hidrolización de las paredes celulares se pudo comprobar que la mitad de las paredes celulares de las plantas está constituida por celulosa, siendo este el más abundante polisacárido natural ya que es el componente de tejido fibroso de las paredes celulares.

Con el ensayo colorimetrico es posible determinar la concentración de sustancias en una solución colorida haciendo uso de longitudes de onda en la región visible del espectro electro magnético.

2.6 Análisis matemático y financiero

El modulo del punto de equilibrio permitió identificar la cantidad de unidades que se deben vender para poder obtener un punto de equilibrio en el proceso, así mismo se identificó cual es el valor en ventas que una empresa debe alcanzar para cubrir sus costos y gastos, en la figura 5 se observa las variables a tener en cuenta para hallar el punto de equilibrio.

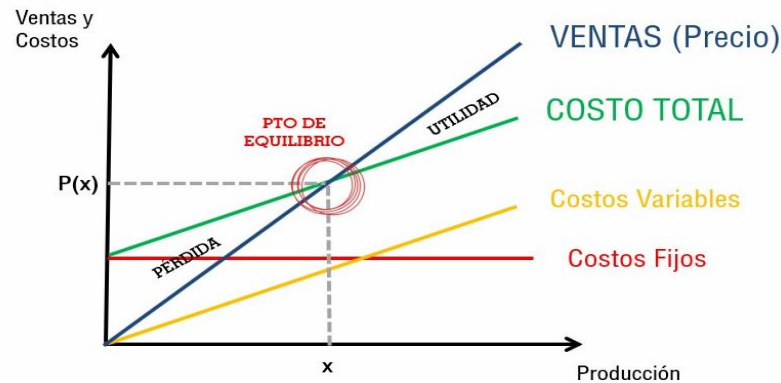


Figura 5 Punto de equilibrio

Tomado de: <https://www.santanderrio.com.ar/banco/online/pymes-advance/formacion-empresarial/pildoras-de-conocimiento/administracion-y-finanzas/punto-de-equilibrio-pyme>

a. Los costos fijos: Es una recta horizontal siendo este un dinero que se debe pagar durante el proceso operativo en la cual a mayor número de unidades producidas esta recta va descendiendo hasta que lo producido cubra en su totalidad este costo.

b. Los costos variables: Es el dinero que se desembolsan por cada unidad que la empresa produzca o venda, esta recta aumenta cada vez que se fabriquen mayor número de unidades.

c. El costo total: representa el costo variable y el costo fijo siendo el valor total del proceso el cual es remunerado con la oferta es decir con las unidades vendidas.

d. Ingreso por ventas: Deriva de cero ingresos por cero unidades producidas y vendidas, la cual aumenta exponencialmente al vender unidades a un precio superior de lo que cuesta haberlo producido, generando ingresos por venta mayores y conceptualmente deben cubrir los costos variables.

e. Cantidad de equilibrio: Son las unidades producidas que representa el equilibrio en el proceso las cuales nos indican en que número de unidades producidas no habría pérdida ni ganancia.

f. Ingreso de equilibrio: Es el costo de las unidades producidas que presentan el equilibrio en el proceso el cual nos indica el valor de las unidades producidas donde no habría pérdida ni ganancia.

El punto de equilibrio se puede calcular tanto para unidades como para valores en dinero. Algebraicamente el punto de equilibrio para unidades se calcular así:

Ecuación 1

$$\text{PE unidades} = \frac{CF}{PVq - CVq}$$

Donde: Cf = Costos Fijos; Pvq = Precio De Venta Unitario; Cvq = Costo Variable Unitario

O también se puede calcular para ventas de la siguiente manera:

Ecuación 2

$$\text{PE ventas} = \frac{CF}{1 - \frac{CVT}{VT}}$$

Donde Cf = Costos Fijos; Cvt = Costo Variable Total; Vt = Ventas Totales

El punto de equilibrio también permite mostrara el riesgo operativo que presenta la inversión, a través del margen de seguridad se podrá conocer los porcentajes de seguridad en los diferentes proyectos de inversión siempre y cuando se conozca su punto de equilibrio, así mismo cualquier variación en los precios que intervienen en este indicador, harán variar de inmediato el punto de equilibrio. (“Punto de equilibrio,” n.d.).

2.7 Evaluación de sostenibilidad económica y ambiental

Para esta evaluación, se tuvo en cuenta la relación costo beneficio, tomando como referencia el valor de la pectina comercial en comparación al valor de producción a escala laboratorio obtenido en el proyecto; de esta manera es posible determinar la viabilidad y rentabilidad de la investigación realizada.

En la parte ambiental se determinó la cantidad (kg) de residuos orgánicos de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y granadilla (*Passiflora ligularis*) producidos en relación a la cantidad de los residuos aprovechados, esta medición se realizó por medio del balance de masas, en el cual se definieron unas variables de entrada y salida, la evaluación se llevó a cabo teniendo en cuenta los principios de los sistemas de producción orgánica que no tienen como objetivo la

explotación intensiva de los recursos, sino la correcta gestión de los residuos. (“Certification, agricultural waste, organic production, herbal medicine and biotechnology in the conception of farmers of the State of Goiás,” n.d.)

El riesgo ambiental disminuiría ya que se identificó que cuantitativamente para el pepino cohombro (*Cucumis sativus*) se utilizó 1 kg de hortaliza para una muestra de 300 g de exocarpio y para granadilla (*Passiflora ligularis*) se utilizó 2 kg de fruta para una muestra de 300g de mesocarpio lo cual indica que a mayor número de unidades fabricadas menor el impacto ambiental de residuos orgánicos.

La disminución del riesgo ambiental se ve reflejado relegado en los indicadores de contaminación y en los cambios climáticos; así mismo ante las descargas contaminantes, el impacto de desechos sólidos y la emisión de gases, podría considerar criterios cuantitativos, que definan niveles de riesgo para aquellos factores de población, áreas que influyan capacidad de tratamiento para cosechas (Corona, 2013). En las investigaciones realizadas encontramos diferentes frutos y métodos seleccionados para realizar la extracción de pectina, así, se favorece la construcción y funcionamiento de un proyecto, que se cumpla bajo las premisas de sostenibilidad y mínima alteración de la base de recursos naturales, y su integración armónica con el entorno (Lozano-Grande, Valle-Guadarrama, Aguirre-Mandujano, Lobato-Calleros, & Huelitl-Palacios, 2016).(Proposal, environmental, assessment, & development, 2009).

3. Planteamiento del problema

En Colombia se producen anualmente 11,6 millones de residuos (reciclables y orgánicos), de estos tan solo se aprovecha un 17% (Rojas, 2016) debido a que solo una parte de las frutas, hortalizas, tubérculos entre otros, son aprovechados como abonos orgánicos, generando contaminación ambiental. El aprovechamiento de estos residuos orgánicos ayuda al crecimiento de las plantas y devuelve al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Ramos & Terry, 2014).

Los residuos pueden ser aprovechados de diversas formas, hay algunos que se encuentran identificados entre los derivados de las frutas (Medellín et al., 2008), los cuales pueden contribuir en la disminución del impacto ambiental brindando alternativas para los modelos actuales de producción.

La pregunta de investigación central de este trabajo corresponde a: ¿los residuos de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y granadilla (*Passiflora ligularis*), pueden ser fuentes potenciales para la obtención de pectinas para uso industrial?

La acumulación de los residuos orgánicos, especialmente los provenientes del exocarpo y mesocarpo de las frutas y hortalizas que no son consumidas por el ser humano y las industrias, corresponde a una de los principales problemáticas de contaminación a nivel mundial, (Canché-Escamilla, de los Santos-Hernández, Andrade-Canto, & Gómez-Cruz, 2005); muchos de estos residuos son de origen natural y pueden generar problemas adicionales a su transporte y manipulación, por ejemplo la generación de malos olores y/o la propagación de microorganismos perjudiciales; sin embargo, a lo largo del tiempo se han venido generando diversas rutas para el aprovechamiento de estos recursos, realizando la conversión en abonos orgánicos, incorporación en la formulación de alimentos para animales, uso como materia prima para fabricar productos de mayor valor agregado, etc. En este último caso, las perspectivas parecen infinitas a juzgar por la amplia gama de procesos que se desarrollan continuamente para el uso de estos desechos, los cuales van desde una transformación con escaso procesamiento, hasta procesos sofisticados para su transformación en materiales con mayor demanda (Escalante, Santos, Rojas, & Velásquez, 2012).

Las empresas de producción de pectinas realizan la extracción en caliente, estas precipitan con alcohol que se recupera, el proceso es costoso y se generan a un precio elevado; otro proceso que utilizan es precipitar las pectinas con Al^{3+} pero se ven afectadas ya que las pectinas obtenidas por este método presentan menor poder de gelificación por tanto un menor valor comercial (Primo Yúfuera, 2007).

4. Objetivo General

Evaluar el contenido de sustancias pécticas provenientes de residuos orgánicos del exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y el mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) obtenidas mediante el uso de diferentes valores de pH y tiempo de hidrólisis con el fin de identificar materias primas promisorias para la obtención de pectinas.

4.1 Objetivos Específicos

- Identificar el efecto en el rendimiento de extracción de sustancias pécticas generadas mediante el uso de diferentes valores de pH y tiempo de hidrólisis planteados en el diseño experimental.
- Identificar el efecto en algunas propiedades fisicoquímica de las sustancias pécticas, como humedad, pH, grado de esterificación y porcentaje de metoxilo.
- Evaluar la sostenibilidad económica y ambiental de producción de sustancias pécticas provenientes de los residuos orgánicos trabajados a escala de laboratorio, a partir de los parámetros evaluados para su obtención.

5. Materiales y métodos

El método identificado que presente mayor rendimiento de sustancias pécticas en base seca, será el método propuesto como alternativa para el escalamiento de producción a nivel semi-industrial e industrial, permitiendo disminuir costos en la importación de esta materia prima.

En el desarrollo del proyecto se monitorearon varios aspectos como tiempos de hidrólisis de 40 y 80 minutos y diferentes pH de 1,6 y 2,5; así mismos se realizaron análisis en hortaliza Pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y fruta granadilla (*Passiflora ligularis*) basado en la metodología identificación gravimétrico desarrollada por Kitner y Van Buren 1982 y la metodología colorimétrica desarrollada por Filisetti - Cozzi & cápita (1991).

La pregunta de investigación se desarrolló a partir, de la definición de dos alternativas para la identificación de pectinas en los residuos orgánicos de las plantas de estudio, se empleó un método de identificación gravimétrico, con diferentes niveles de pH y tiempos de hidrólisis y un método colorimétrico, con el fin de determinar que tratamientos presentaban mayor concentración de ácido galacturónico.

Con información de estudios previos realizados en el rendimiento de extracción en base húmeda, en los cuales se generaron extracciones de pectina empleando HCl 0,003 N a pH 2,5, a una temperatura de 90°C ,con un tiempo de extracción de 75 minutos, en los cuales se obtuvo un rendimiento máximo de pectina de 23,85% para la pulpa del níspero de la sierra y de 21,60% para el mesocarpio de la granadilla (*Passiflora ligularis*), semejante a la pectina obtenida de los frutos cítricos (20-35%) (Silva et al., 2008), se definieron los valores de pH y tiempo de hidrólisis a evaluar.

Para la medición de la absorbancia se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis Thermo Spectronic, para la elaboración de la curva de calibración se empleó ácido galacturónico como patrón (Galván Iván et al., 2016).

5.1 Extracción

Para llevar a cabo el proceso de extracción se realizó la hidrólisis en la hortaliza pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y el fruto granadilla (*Passiflora ligularis*). A continuación se observa en la tabla 3, el protocolo para identificación por el método gravimétrico.

Tabla 3 Protocolo de identificación por el método gravimétrico.

Paso	Actividad
1	Inactivación de microorganismos
1.1	Se utilizaron 300 gramos por litro
1.2	Se calentó hasta ebullición, lo cual contribuyó a eliminar suciedades o microorganismos presentes
1.3	Se decantó el agua y la materia prima dejándola lista para la hidrólisis
2	Hidrólisis ácida
2.1	A un litro (1 Litro) de agua desionizada se le agregó ácido clorhídrico al 37% hasta obtener los pH deseados (1,6 – 2,5)
2.2	Al material sólido se le agregó la solución preparada en el numeral 2.1
2.3	El tiempo de calentamiento de la solución corresponde al tiempo de hidrólisis (40 - 80 minutos) manteniendo la temperatura de 60°C.
2.4	Se mantuvo una agitación permanente para evitar que el material sólido se deposite en el fondo del beaker.
3.0	Precipitación
3.1	Se empleó etanol al 96 %
3.2.	Para la precipitación de las pectinas se realizó con un volumen de 60 mL de etanol al 96 % para la solución que se precipitó.

Fuente: Autores

Así mismo para el método colorimétrico aplicado para la identificación de pectina en la hortaliza y el fruto pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y granadilla (*Passiflora ligularis*), se aplicó el protocolo en cuatro partes primero: preparación de soluciones, segundo curva de calibración, tercero hidrolización de paredes celulares, y cuarto desarrollo del ensayo, como se observa el procedimiento en las tablas 4, 5, 6 y 7.

Tabla 4 Preparación de soluciones

Paso	Actividad
1	Preparación de solución A
1.1.	Se tomaron 20 mg de ácido galacturónico y se disolvieron en 1 mL de agua
1.2	Se tomaron 100 µL de la solución anterior y se le añadieron 9900 µL de agua desionizada
1.3	A partir de la solución A, se prepararon los estándares indicados (5,10,15,20,30,40)
2	Solución de m-hidroxibifenil
2.1	Se pesaron 0,15 g de m-hidroxibifenil en un balón aforado de 100 mL
2.2.	Se llevó a volumen con una solución 0,5% p/v de hidróxido de sodio, y se almacenó en un lugar oscuro, debido a que es fotosensible. Se dejó en reposos durante 24 horas.
3	Solución de tetraborato de sodio 75 mM (micromolar)
3.1	Se utilizaron todos los implementos de protección (gafas, guantes, bata, tapabocas, y se realizaron las reacciones en cabina de extracción).
3.2	Para preparar 100 mL de solución, se pesaron 1,5 gramos de tetraborato de sodio y se llevaron a un balón aforado de 100 mL.
3.3	Se adicionaron 90 mL de ácido sulfúrico concentrado (96%), se agitó hasta disolución durante 24 horas y se ajustó a volumen con ácido sulfúrico concentrado (96%).
4	Solución saturada de hidróxido de potasio
4.1	Se tomaron 50 mL de agua, la cual se adicionó lentamente al hidróxido de potasio hasta saturación (evidenciando que no se formara una disolución y se observe hidróxido precipitado).
5	Solución de ácido sulfúrico 4 M
5.1	Se pesaron 38,84 gramos de ácido sulfúrico, se agitaron vigorosamente en 50 mL de agua en un balón aforado de 100 mL
5.2	Se adiciono la solución saturada de hidróxido de potasio al ácido sulfámico hasta disolución.
5.3	Se enfrió la solución preparada en el punto 2 al ambiente y con solución de hidróxido de potasio saturada
5.4	Se ajustó el volumen a 100 mL con agua
5.5	Se almaceno a temperatura ambiente

Fuente: Autores

Tabla 5 Curva de calibración

Paso	Actividad
6	Curva de calibración
6.1	Se tomaron dos tubos de ensayo por cada una de las concentraciones establecidas en la tabla 4 (en total 12 tubos de ensayo) y se adicionaron 0,40 mL de cada una de las soluciones con las concentraciones 5, 10, 15, 20, 30 y 40 µg/0,4mL
6.2	Se adicionaron 40 µL de solución de ácido sulfámico pH 1,6 a todos los tubos y se agitaron durante 30 segundos
6.3	Se adicionaron 2,4 mL de solución de tetraborato de sodio en ácido sulfúrico 75 mM a todos los tubos y se agitaron vigorosamente durante 1 minuto
6.4	Se colocaron los tubos en baño de maría a 100 °C durante 20 minutos
6.5	Posteriormente se enfriaron los tubos en un baño de hielo por 10 minutos
6.6	Se adicionaron 0,080 mL (o 80 µL), m-hidroxibifenil se agito vigorosamente y se verifico que la mezcla sea homogénea
6.7	Se dejó desarrollar el color rosado por 10 minutos y se midió a una longitud de onda de 525 nm.

Fuente: Autores

Tabla 6 Hidrolización de paredes celulares

Paso	Actividad
7	Hidrolizar paredes celulares o fracciones de pared celular
7.1	Se pesaron 5 mg de la muestra (Pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>) exocarpío y granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>) mesocarpio, en tubos de boro silicato.
7.2	Se agregó 1 mL de ácido sulfúrico concentrado a todos los tubos y se tapó. Se realizó un tubo de control, el cual contenía 1 ml de ácido sulfúrico concentrado y se llevó a través de todos los procedimientos.
7.3	Se colocaron los tubos preparados en el punto 7.1 y 7.2 en un baño de hielo durante 5 minutos, asegurando de no sobrepasar el material solido por encima del nivel del líquido.
7.4	Se agregó 1 mL adicional de ácido sulfúrico concentrado a todos los tubos; y se dejó en un baño de hielo durante 5 minutos, asegurando de no sobrepasar el material solido por encima del nivel del líquido
7.5	Se agregó 0,5 mL de agua y se agitó durante 5 minutos en un baño de hielo.
7.6	Se agregó 0.5 mL de agua adicionales, y se agitó durante 5 minutos en un baño de hielo

Paso	Actividad
7.7	Se diluyó el contenido de cada tubo con agua hasta 10 mL, en un matraz aforado de 10 ml. Se transfirió a un tubo de centrifuga de 15 ml y se centrifugó durante 10 minutos a 2000 rpm, temperatura ambiente para sedimentar cualquier material no hidrolizado.

Fuente: Autores

Tabla 7 Desarrollo del ensayo

Paso	Actividad
8	Ensayo colorimétrico
8.1	Para cada hidrolizado, se colocaron tres tubos de vidrio de boro silicato de 15 mL. Para el control de reactivos se colocaron dos tubos, se tomaron alícuotas de 400 µL de cada sobrenadante del hidrolizado y control de reactivo; y se llevaron a los respectivos tubos.
8.2	Se agregaron 40 µL de solución 4M de ácido sulfámico/ sulfamato de potasio, pH 1.6, a todos los tubos, y se llevaron al Vortex los tubos por un minuto
8.3	Se agregaron 20,4 mL de tetraborato sódico 75 mM en solución de ácido sulfúrico en todos los tubos; y se llevaron al Vortex por minuto.
8.4	Se colocaron los tubos en un baño de agua a 100 ° C (punto de ebullición) durante 20 minutos, luego se enfriaron los tubos sumergiendo en un baño de hielo durante 10 minutos
8.5	Se colocaron los mármoles de vidrio encima de los tubos para evitar la contaminación de las muestras por condensación.
8.6	Se agregaron 80 µL de solución de m-hidroxidifenilo y se tomaron 2 tubos de cada muestra y 2 tubos de control de reactivo. Se agregó al tercer tubo de cada muestra 80 µL de NaOH al 0.5% se llevaron al Vortex el contenido de los tubos tres veces; asegurando de que estén bien mezclados.
8.7	Se desarrolló un color rosado entre 5 a 10 minutos, y se estabilizó durante 1 hora después de que se desvanece.
8.8	Entre 10 minutos y 1 hora después de la mezcla completa se realizó la lectura de las absorbancias a 525 nm contra el control de reactivo, se restaron los valores para los controles de muestra de sus absorbancias de la muestra correspondiente.
8.9	Se preparó una curva con un estándar de ácido D-galacturónico.

Fuente: Autores

6. Diseño Experimental

Es importante mencionar que los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de éstos sobre las variables de interés (pH, tiempo de hidrólisis, rendimiento, humedad, contenido de metoxilo grado de esterificación). El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales que son adecuadas para generar la información que se busca, el diseño factorial completo 2^k es una de ellas, este describe los experimentos más adecuados para conocer simultáneamente qué efecto tienen k factores sobre una respuesta y descubrir si interaccionan entre ellos (Medina D. & Lopez R., 2011). Para el desarrollo de esta propuesta de investigación se planteó un diseño factorial 2^3 con 3 factores (factor 1: fuente de extracción, niveles: pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y granadilla (*Passiflora ligularis*), factor 2: pH, niveles 1,6 y 2,5 y factor 3: tiempo, niveles 40 y 80, cada uno de los factores presentará dos niveles como se evidencia en la tabla 8 así mismo se realizará por triplicado cada una de las variables analizar.

Tabla 8 Diseño experimental método de gravimétrico.

	Método de gravimétrico						
Fuente de obtención	pH de extracción	Tiempo de hidrólisis	Rendimiento de extracción	% de humedad	Contenido de metoxilo	Grado de esterificación	pH Final de la pectina obtenida
Pectina comercial	NA	NA	NA	3	3	3	3
Pepino cohombro	1,6	40	3	3	3	3	3
	1,6	80	3	3	3	3	3
	2,5	40	3	3	3	3	3
	2,5	80	3	3	3	3	3
Granadilla	1,6	40	3	3	3	3	3
	1,6	80	3	3	3	3	3
	2,5	40	3	3	3	3	3
	2,5	80	3	3	3	3	3

Fuente: Autores

En el diseño experimental 2^3 se realizaron por triplicado todos los ensayos para las variables propuestas, así mismo se presentan dos mediciones de pH ya que durante el proceso de la extracción se mantiene los pH 1,6 y 2,5 y al final se toma el pH de la pectina obtenida porque

es un parámetro importante para las aplicaciones en la industria alimenticia. Un porcentaje alto de grupos ácidos disociados respecto a grupos no disociados hace que la pectina sea más hidrofílica, por lo tanto; la tendencia a gelificar aumenta considerablemente al bajar el pH (D'Addosio et al., 2008).

Es importante tener en cuenta que durante el proceso de extracción se hidrolizan enlaces éster, específicamente el metil éster y el acetato al cual la pectina se puede esterificar por sus grupos hidroxil. Adicional a esto, es necesario tomar el pH final de la pectina obtenida ya que es sometida a un proceso de secado en el cual se elimina el agua, modificando de esta manera el valor de pH (D'Addosio et al., 2008)

A continuación se presenta en la tabla 9 el diseño experimental para el método colorimétrico.

Tabla 9 Diseño experimental método colorimétrico.

Método colorimétrico			
Fuente de obtención	pH	Tiempo (min)	Absorbancia
Pepino	1,6	40	3
		80	3
	2,5	40	3
		80	3
Granadilla	1,6	40	3
		80	3
	2,5	80	3
		40	3

Fuente: Autores

De acuerdo con el diseño experimental planteado, se manejaron 8 tratamientos y se desarrollaron en total 156 pruebas químicas, las cuales se obtienen de los triplicados para cada una de las 5 variables medidas (8 tratamientos x 5 variables x 3 repeticiones 120 pruebas en total, más 24 pruebas correspondientes al método de determinación colorimétrico de pectinas, y 12 pruebas para la caracterización de la pectina comercial, adicionalmente se realizaron los análisis económicos y ambientales de las respectivas combinaciones. Esta información corresponderá al banco de datos de la investigación.

6.1 Análisis experimental

Los resultados fueron analizados a partir de ANOVA utilizando el método LSD (mínimas diferencias significativas) con el método de comparaciones múltiples con un nivel de confianza del 95%. El análisis de varianza se realizó en el software STATGRAPHICS, las diferencias estadísticamente significativas de cada experimento se determinaron mediante una prueba de rangos múltiples de Fisher LSD ($P < 0,05$) también se realizó por medio del software los diagramas de superficie y la optimización de variables con el fin de establecer la mejor combinación de las variables: pH y tiempo de hidrólisis y de esta manera maximizar las ganancias y la eficiencia del proceso y minimizar los costos.

6.2 Variables de ensayo

6.2.1 Rendimiento

Una vez secas las pectinas, se procedió a determinar el rendimiento para cada nivel de pH (1,6 y 2,5) y tiempos de hidrólisis (40, y 80 minutos), para ello se aplicó la ecuación 3 (Gamboa Bandry, 2009).

Ecuación 3

$$\% \text{ de pectina} = \frac{g \text{ de pectina obtenida} * 100}{\text{Peso de la muestra } g}$$

6.2.2 Humedad

El contenido de humedad en las muestras de pectina obtenidas se determinó mediante secado en horno convencional a 50°C hasta obtener un peso constante, se empleó la ecuación 4 para determinar el valor de la variable. (Hart y Fisher, 1984).

Ecuación 4

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final} * 100}{\text{peso inicial}}$$

6.2.3 Contenido de metoxilo

Se determinó mediante la valoración del grado de esterificación (Gamboa Bandry, 2009), dado que la cantidad de metoxilo en el 100% de pectina esterificada es 16.32%, el porcentaje de metoxilo se calculó a partir de la siguiente ecuación: (Zouambia, Ettoumi, Krea, & Moulai-mostefa, 2017)

Ecuación 5

$$Me\% Me = \frac{16.32}{100} \times DE$$

Donde:

16.32: 16.32% de metoxilo

100: 100% de pectina esterificada

DE: Grado de esterificación.

6.2.4 Determinación del grado de esterificación

Se calculó empleando el método de valoración de Schultz, (1965). Para ello se considera como valoración (A) el volumen gastado de NaOH 0,1 N durante la acidez titulable en la muestra ensayada. Seguidamente, se añadieron 20 mL de NaOH 0,5 N y se dejaron reposar por 30 minutos hasta que ocurrió la deesterificación de la pectina. A continuación, se agregaron 20 mL de HCl 0,5 N para neutralizar el NaOH, y finalmente, la dilución se valoró con NaOH 0,1 N (valoración B), para determinar los valores de la variable se empleó la ecuación 6 (Gamboa Bandry, 2009)

Ecuación 6

$$\% \text{ esterificación} = \frac{\text{meq.de NaOH(cont.de metoxilo)}}{\text{meq.de NaOH(acidez libre) + meq.de NaOH(cont.de metoxilo)}} \times 10$$

* El volumen de NaOH tanto en el numerador como en el denominador de la ecuación se utiliza el mismo.

6.2.5 pH

El potencial entre los electrodos es proporcional a la concentración de iones hidrógeno en solución para trabajos de rutina usar instrumentos con exactitud y reproducibilidad de 0,1 unidades de pH en un rango de 0 a 14 cabe resaltar que los electrodos empleados presentaban una resistencia superior o igual a 100 ° C, esto con el fin de realizar las mediciones durante el proceso de hidrólisis, posteriormente se deja secar y se realiza nuevamente la medición de pH final de la pectina obtenida (disolviéndola en agua desionizada al 10 %) verificando que cumple con la especificación requerida de acuerdo a la industria . (Seguimiento & agua, 2007).

6.2.6 Análisis de espectro infrarrojo

Se realizó un análisis de espectro infrarrojo de las muestras de pectina obtenidas a partir de los residuos del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y el mesocarpio de la granadilla (*Passiflora ligularis*) y de una muestra de pectina comercial, los espectros obtenidos serán superpuestos entre las muestras con el patrón para verificar la identificación de la pectina estableciendo el porcentaje de similitud entre las muestras (Santander, 2015). (“Ultrasonic degradation of sweet potato pectin and its antioxidant activity - ScienceDirect,” n.d.)

6.2.7 Porcentaje de ácido anhidro-galacturónico

Se empleó espectrometría uv-vis, midiendo la absorbancia a una longitud de onda de 525 nm, las soluciones empleadas presentaban una coloración característica rosada, la cual se desarrolló en presencia de ácido sulfámico, m-hidroxibifenil y ácido galacturónico desesterificado. El método colorimétrico empleado se realizó en varios pasos , primero preparación de soluciones, segundo, curva de calibración, tercero hidrolizar paredes celulares o fracciones de pared celular y por último se desarrolla el procedimiento establecido por Filisetti-Cozzi and cápita (1991) (Cerón Salazar & Cardona Alzate, 2011) .((“Extracción y caracterización de pectina apartir de cáscaras de plátano para desarrollar undiseño general del proceso de producción,” 2012).

7. Resultados y discusión

7.1 Pruebas preliminares con método de identificación gravimétrico

Las pruebas preliminares se realizaron con el fin de conocer y adaptar el proceso:

A) Hidrólisis en la hortaliza de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y granadilla (*Passiflora ligularis*) se analizaron con y sin mesocarpio: Se comparó el rendimiento de pectina obtenida trabajando el mesocarpio y con exocarpio de manera independiente.

B) Para la precipitación de pectina se usaron diferentes concentraciones de etanol: Esta prueba se realizó para determinar si la cantidad de alcohol de 96% adicionado a la solución pectica influía en el rendimiento.

7.2 Resultado Pruebas Preliminares

7.2.1 Hidrólisis de las frutas acondicionadas con y sin mesocarpio (cáscara):

En la tabla 10 se puede observar que el mayor rendimiento se presenta en el mesocarpio de granadilla en pH 1,6, tiempo de hidrólisis 40 min con un resultado del 0,56% de pectina obtenida; sin embargo, el rendimiento en cáscara es 0,33% lo cual indica que en la cáscara de la granadilla (*Passiflora ligularis*) se encuentra un porcentaje significativo de pectina.

Tabla 10 Rendimiento de exocarpio y mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*).

Codificación ensayo granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>)	pH	Hidrólisis	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Peso final después del secado (g)	Rendimiento (%)
RGr1aA1(Exocarpio)	1,6	40	89,3099	136,175	90,2915	0,33
RGr1aA2 (Mesocarpio)	1,6	40	86,1253	160,563	87,6751	0,56

Fuente: autores

En la Figura 6 se puede el aspecto físico de las pectinas obtenidas; se comparó rendimientos de pectina obtenida trabajando el exocarpio (A) y solo el mesocarpio (b); se puede visualizar que el color de la cáscara afecta en la presentación de la pectina, en extracción de pectina a

partir del exocarpio (A) se obtuvo un color amarillo oscuro y con el mesocarpio (B) se obtuvo pectina con una coloración amarilla clara lo cual indica que la pectina de presenta mejor calidad.



Figura 6 Pectina húmeda obtenida a partir de la cascara y mesocarpio de la granadilla

Fuente: autores

Los resultados que se presentan en la tabla 11 se puede observar que al evaluar el rendimiento de pectina extraída a pH 2,5, tiempo hidrólisis 40 y 80 minutos, a partir pepino *Cohombro* (*Cucumis sativus*) se muestra que el mayor porcentaje de pectina se obtiene en el exocarpio dando como resultado 0,0793 % de pectina. Al realizar el ensayo con exocarpio y mesocarpio el resultado del rendimiento es 0,0086%. Es decir que el rendimiento es mayor en el exocarpio debido a que el pepino *Cohombro* (*Cucumis sativus*) está constituido en un 95% agua lo cual influye en el bajo rendimiento.

Tabla 11 Rendimiento del exocarpio y endocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Codificación Ensayo Pepino <i>Cohombro</i> (<i>Cucumis sativus</i>)	pH	Hidrólisis	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Peso final después del secado (g)	Rendimiento (%)
RPC1aA1(exocarpio)	2,5	40	78,6336	82,27	78,872	0,0793
RPC1aA2(exocarpio y mesocarpio)	2,5	80	83,7269	94,3093	83,7528	0,0086

Fuente autores

En la tabla 12 se observa el ensayo precipitación de pectina obtenida a partir de granadilla (*Passiflora ligularis*) con etanol.

Tabla 12 Ensayo precipitación de pectina obtenida a partir de granadilla (*Passiflora ligularis*) con etanol.

Codificación Ensayo Pepino Cohombro (<i>Cucumis</i> <i>sativus</i>)	pH	Hidrólisis	Cantidad de etanol 96% adicionado	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Peso final después del secado (g)	Rendimiento (%)
RPC1aA1 (exocarpio)	2,5	40	60% solución pectica	78,6336	82,27	78,872	0,0793
RPC1aA2 (exocarpio)	2,5	80	80% solución pectica	83,7269	94,30	84,0102	0,0942

Fuente: Autores

7.2.2 Precipitación de pectina usando diferentes volúmenes de etanol al 96 %

En los ensayos realizados para determinar si la cantidad de etanol empleada para la precipitación de la pectina afecta en el porcentaje de rendimiento de granadilla (*Passiflora ligularis*) con etanol y Pepino Cohombro (*Cucumis sativus*) con etanol, se observa que al precipitar la solución pectica con un volumen de etanol equivalente al 80% de dicha solución se obtiene mayor rendimiento como se muestra en tablas 13 y 14. Al emplear un volumen de etanol equivalente al 60% de la solución pectica no se disminuye el rendimiento de manera significativa, presenta una variación leve; sin embargo los costos si disminuyen de forma representativa.

Tabla 13 Ensayo precipitación obtenida a partir de pectina de pepino (*Cucumis sativus*)

Codificación n ensayo granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>)	pH	Hidrólisis	Cantidad de etanol 96% adicionado	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Peso final despu és del secado (g)	Rendimiento (%)
RGr1aA1 (mesocarpio)	1,6	40	60% solución pectica	86,1253	160,562 5	87,675 1	0,56
RGr1aA2 (mesocarpio)	1,6	40	80% solución pectica	87,1253	161,462 5	88,782 1	0,6

Fuente: Autores

7.3 Caracterización pectina comercial

Se realizó la caracterización de la pectina comercial proveniente de frutos de naranja. En la tabla 14 se presentan los resultados obtenidos para las variables analizadas humedad, pH, % metoxilo y grado de esterificación.

Tabla 14 Resultados de humedad (%) en pectina comercial cítrica * pH tomado en solución acuosa al 10%

Variable analizada	Valor obtenido
Humedad (%)	0,58±0,23
pH final	3,68±0,093
% metoxilo	6,67±0,48
Grado de esterificación	66,34±1,5

Fuente: Autores

De acuerdo con los valores obtenidos, el % de humedad y pH de la pectina comercial se encuentran que de acuerdo a la bibliografía de los rangos aceptables (pH 3 en promedio) para pectinas utilizadas en la industria de alimentos.(D´Addosio et al., 2008)

En cuanto al contenido de metoxilo como se puede observar en la figura 7, se identificó un porcentaje de 6,66%, este valor es inferior al reportado en la literatura como ideal para pectinas comerciales, en los cuales se indica que el grado metoxilo se debe encontrarse entre el 8 y el 12%, valores que son asociados a aspectos físicos de gelificación con un contenido de 65% de sólidos solubles (azúcar). El grado de esterificación de la pectina comercial es de 76% según la literatura, lo cual indica que la pectina utilizada como patrón tiene bajas propiedades gelificantes debido a que los resultados obtenidos fueron 66,34%; afectando la calidad de la pectina en alimentos. (“Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona ,” 2011).

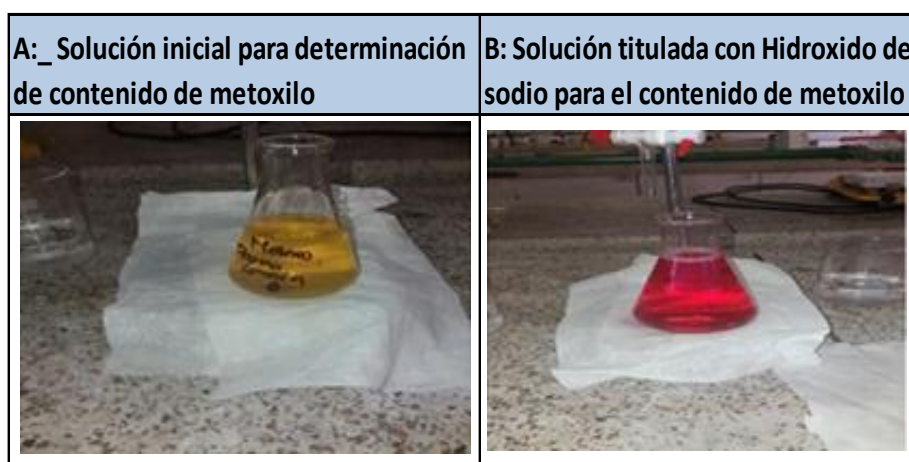


Figura 7. Contenido metoxilo en la pectina comercial

Fuente: autores

7.4 Rendimiento en pepino cohombro (*Cucumis sativus*) empleando el método de identificación gravimétrico

La pectina fue extraída bajo las siguientes condiciones: pH: 1,6 y 2,5, tiempo de hidrólisis 40 y 80 minutos a una temperatura de 60°C; para realizar el proceso de precipitación se utilizó el

60% de etanol en relación con la solución pectica, debido a que la cantidad de etanol no tienen variación significativa. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 15 y 17.

En la tabla 15 y 17 se puede observar variación significativa entre el rendimiento en base húmeda y en base seca, esta condición se produce por la cantidad de agua que contiene el pepino cohombro (*Cucumis sativus*), teniendo un aproximado del 95%.

De acuerdo a los rendimientos evaluados estadísticamente en cada uno de los factores, se puede indicar que en 3 de los valores P es inferiores a 0,05, por tanto, estos factores tienen efecto significativo en el rendimiento en base húmeda % y rendimiento en base seca % teniendo un nivel de confianza del 95,0%.

A tiempos de extracción constantes, la disminución del pH produce un incremento en el rendimiento de la pectina extraída, el tiempo de hidrólisis no presenta diferencias relevantes en cuanto al porcentaje de rendimiento.

De acuerdo a los ensayos realizados el máximo porcentaje de pectina extraída en base humedad corresponde al ensayo N° 2 obtenida a pH 1,6 y tiempo de hidrólisis 80 minutos y el mínimo corresponde al ensayo N° 3 a pH 2,5 y tiempo de hidrólisis 80 minutos; y en el rendimiento máximo en base seca corresponde al ensayo N°2 con un pH de 1,6 y tiempo de hidrólisis de 80 y el mínimo corresponde al ensayo N° 3 con un pH 2,5 y un tiempo de hidrólisis de 40. Los rendimientos obtenidos en base seca y húmeda son inferiores a los reportados por Diana E. Molina (2012) en calabaza (familia Cucurbitácea) dando como resultado 7,3% utilizando agua acidificada con HCl a pH 2,5, en una RSS 1:50 durante 60 min a 85 °C (Edith et al., 2016)

Las combinaciones de pH bajo contribuyen a la reducción el tamaño de las moléculas. Bajo esta condición, se incrementa también la hidrólisis de los grupos carboxilos, reduciendo el porcentaje de esteres metílicos en las cadenas, por otro lado, en condiciones de pH bajo se logra hidrolizar un porcentaje muy bajo de pectina, obteniéndose un bajo rendimiento. (“Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (hmo),” n.d.)

Tabla 15 Rendimiento (base húmeda%) de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Rendimiento (base húmeda %)
RPC1aA1	1,6	40	2,95±0,032**
RPC1aA2	1,6	80	6,98±0,72**
RPC1aA3	2,5	40	3,41±0,042*
RPC1aA4	2,5	80	2,43±0,19*

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: R: variable rendimiento, PC: pepino cohombro y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas, los tratamientos que presenta el símbolo ** si presentan diferencias significativas.

Mediante el análisis de varianza para la variable rendimiento (base húmeda %), se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 8 se puede observar que el mayor rendimiento se presenta en la región de color rojo, la cual pertenece a la condición de pH:1,6 tiempo de hidrólisis: 80 minutos.

$$\text{Ecuación 8: } 6,33657 - 2,27963 * X + 0,0380417 * Y$$

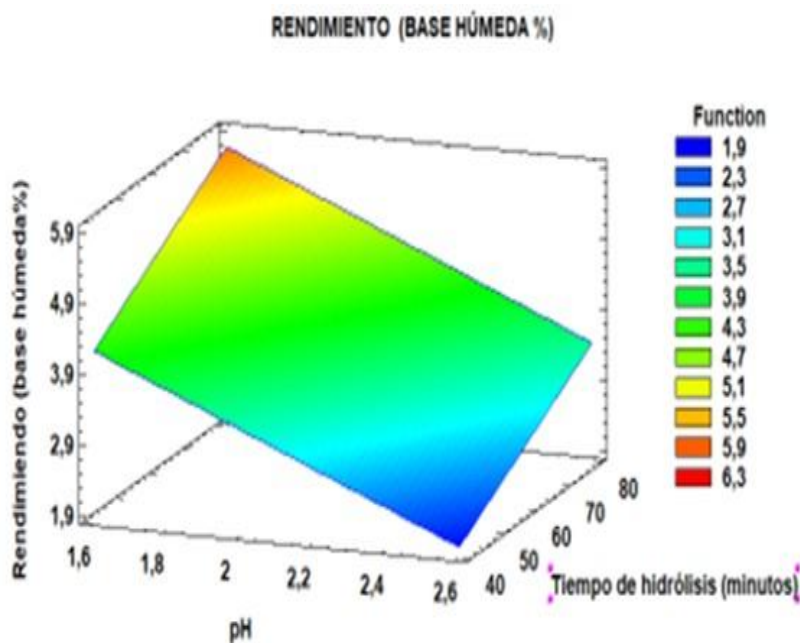


Figura 8 Diagrama de superficie: Rendimiento (base húmeda %) a partir de pectina obtenida del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

En la tabla 16, se muestra la combinación de niveles de factores que maximiza rendimiento en base humedad sobre la región indicada. La optimización para la variable de rendimiento en base húmeda se da en pH 1,6, hidrólisis 80.

En este caso, uno de los efectos tiene valores P menores que 0,05, lo que indica que son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 16 Optimización de la variable rendimiento en base humedad en pepino cohombro (*Cucumis sativus*)

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
Tiempo de hidrólisis	40,0	80,0	80,0

Fuente: Software Statgraphics

Tabla 17 Rendimiento (base seca%) de pectina a partir del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Rendimiento (base seca %)
RPC1aA1	1,6	40	0,54±0,24*
RPC1aA2	1,6	80	1,27±0,6*
RPC1aA3	2,5	40	0,32±0,21*
RPC1aA4	2,5	80	0,37±0,08*

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: R: variable rendimiento, PC: pepino cohombro y aA1: consecutivo de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas.

Realizando el análisis de varianza para la variable rendimiento (base seca %) se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 9 se puede observar que el mayor rendimiento se presenta en la región de color rojo, la cual pertenece a la condición de pH: 1,6 tiempo de hidrólisis: 80 minutos.

El mayor rendimiento obtenido en esta investigación, fue de 1,27±0,6% en condiciones de pH 1,6 a tiempo de hidrólisis 80 minutos al realizar comparación con la investigación realizada por Clarissa Damiani se obtuvo como resultado 0.83 - 0.50% (Asquieri, Evandro, De, Boas, & Valério, 2012), lo cual indica que el rendimiento en este trabajo es similar al reportado en la literatura.

A partir del análisis realizado se puede indicar que los rendimientos son menores en base seca en comparación a los de base humedad, debido a la evaporación del agua, generando pérdida de peso obteniendo un residuo sólido en polvo. Así mismo se puede establecer que los

rendimientos obtenidos para los dos frutos trabajados se favorecen en condiciones de pH 1,6 y tiempos de 80 cabe resaltar que el tiempo de hidrólisis no es crítico mientras que el pH sí, de acuerdo a la literatura podemos indicar que en condiciones de pH bajo se presenta un porcentaje alto de grupos ácidos disociados. (D'Addosio et al., 2008) .

$$\text{Ecuación 9: } 1,32815 - 0,625926 \cdot X + 0,00966667 \cdot Y$$

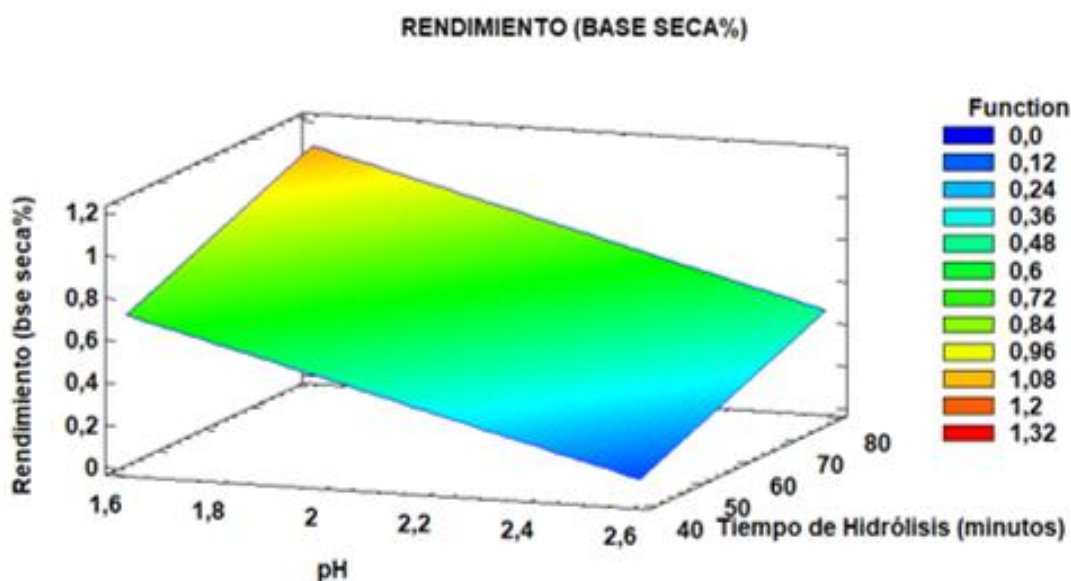


Figura 9 Diagrama de superficie: Rendimiento (base seca %) a partir de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

En la tabla 18 se muestra la combinación de niveles de factores que maximiza el rendimiento base seca son: pH 1,6, tiempo de hidrólisis 80 minutos.

Tabla 18 Optimización variable Rendimiento (base seca %) del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
tiempo de hidrólisis	40,0	80,0	80,0

Fuente: Software Statgraphics

7.4.1 Contenido de humedad y pH

Se determinó el contenido de humedad en el exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) en la muestra natural y en la pectina extraída a partir del exocarpio como se muestra en las tablas 19 y 20.

Tabla 19 Humedad (%) del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Codificación	Humedad (%)
Exocarpio del pepino cohombro	17,61±4,63

Fuente: autores

Se determinó por triplicado el contenido de humedad en el exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) como se presenta en la Figura 10, obteniendo como resultado promedio 17,61%, si bien el pepino cohombro (*Cucumis sativus*) está constituido por 96% de agua el contenido de humedad, fue relativamente bajo debido a que solo se examinó el exocarpio y gran parte del contenido del agua se encuentra en el mesocarpio.

Estos resultados difieren de acuerdo a lo reportado por Misael Cortes en el año 2011 (Misael Cortes, Yisell Martelo, Eduardo Rodríguez et 2011) en el cual se reporta un porcentaje de humedad entre $96,43 - 95,58 \pm 0,2 \%$, la diferencia se debe a que en esta investigación se tuvo en cuenta el exocarpio y mesocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*), mientras que en los resultados obtenidos en esta investigación solo se tuvo en cuenta el exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*). (Valoración de atributos de calidad en pepino - *Cucumis sativus* l.fortificado con vitamina e n.d.)

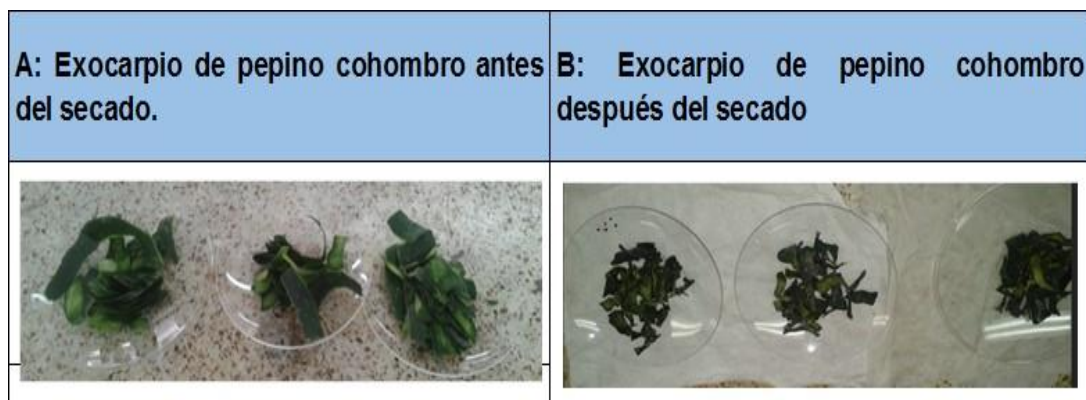


Figura 10 % Humedad del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) natural

Fuente: autores

Tabla 20 Humedad (%) de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Humedad (%)
HPC1aA1	1,6	40	0,96±0,38*
HPC1aA1	1,6	80	1,21±0,41*
HPC1aA1	2,5	40	1,44±0,98*
HPC1aA1	2,5	80	0,53±0,39*

Fuente: autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: H: variable humedad, PC: pepino cohombro y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas.

Realizando el análisis de varianza para la variable humedad se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 11 se puede observar que el mayor porcentaje de humedad se presenta en la región de color rojizo, la cual pertenece a la condición de pH: 2,5 tiempo de hidrólisis: 40 minutos.

$$\text{Ecuación 10: } 0,7825 - 0,116667 * X + 0,00820833 * Y$$

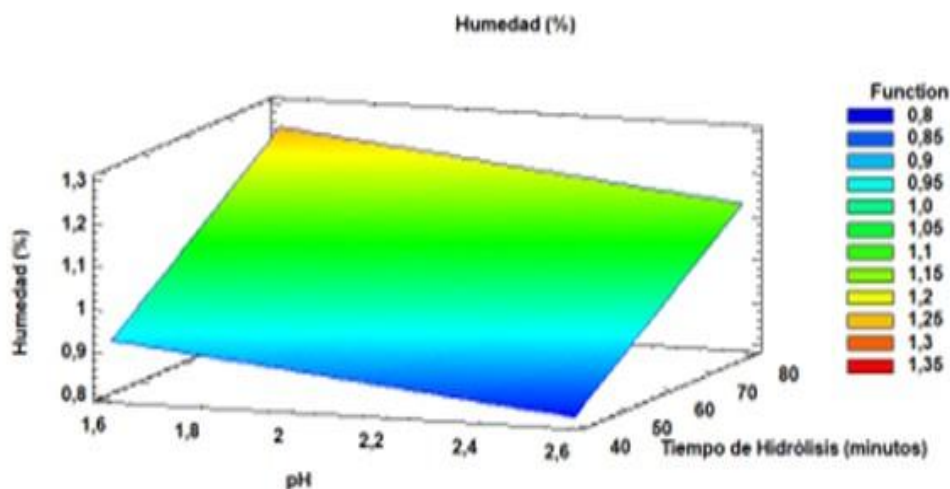


Figura 11 Diagrama de superficie: Humedad (%) a partir de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

En la tabla 21 se observa que en condiciones de pH 2,5 hidrólisis 80 minutos es la mejor combinación para el diseño experimental empleado en la variable de humedad.

Tabla 21 Optimización de la variable humedad

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	2,5
hidrólisis	40,0	80,0	80,0

Fuente: Software Statgraphics

La humedad de la pectina es un factor que incide directamente en la estabilidad de la pectina porque por sus características químicas permite el crecimiento de microorganismos, especialmente hongos. Una pectina muy húmeda es difícil de pulverizar, se adhiere a las superficies y tienen menor estabilidad y tiempo de vida útil. Una pectina muy seca puede ser resistente a la molienda y presentar un color más oscuro.(Flores, Mariños, Rodríguez, & Rodríguez, 2013).

Teniendo en cuenta que el resultado de humedad obtenido no supera el 10% se puede indicar que es esta pectina puede tener mayor estabilidad, tiempo de vida útil y menos posibilidades de permitir el crecimiento de microorganismos. (“Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (2011).

En la tabla 22 se observan los resultados obtenidos en la variable pH para de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Tabla 22 Resultados de pH de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	pH final
pHPC1aA1	1,6	40	2,6±0,032*
pHPC1Aa2	1,6	80	2,38±0,16*
pHC1aA3	2,5	40	4,03±0,12**
pHPC1aA4	2,5	80	4,01±0,26**

Fuente Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: pH: variable pH, PC: pepino cohombro y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas y los que presentan el símbolo ** si presentan una diferencia significativa.

Realizando el análisis de varianza para la variable pH se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 12 se puede observar que el mayor valor de pH se presenta en la región de color rojizo, la cual pertenece a la condición de pH: 1,6 tiempo de hidrólisis: 40 minutos.

Cabe resaltar que es importante medir el pH final para asegurar que se encuentra ácido (cercano a 3) ya que en estas condiciones se evita el crecimiento de microorganismos y aumenta sus propiedades para gelificar lo cual hace que se pueda utilizar a nivel industrial. (De, Correa, Garza, Rodríguez, & Noé, 1999).

$$\text{Ecuación 11: } 0,424259 + 1,7037*Y + 0,00308333*X$$

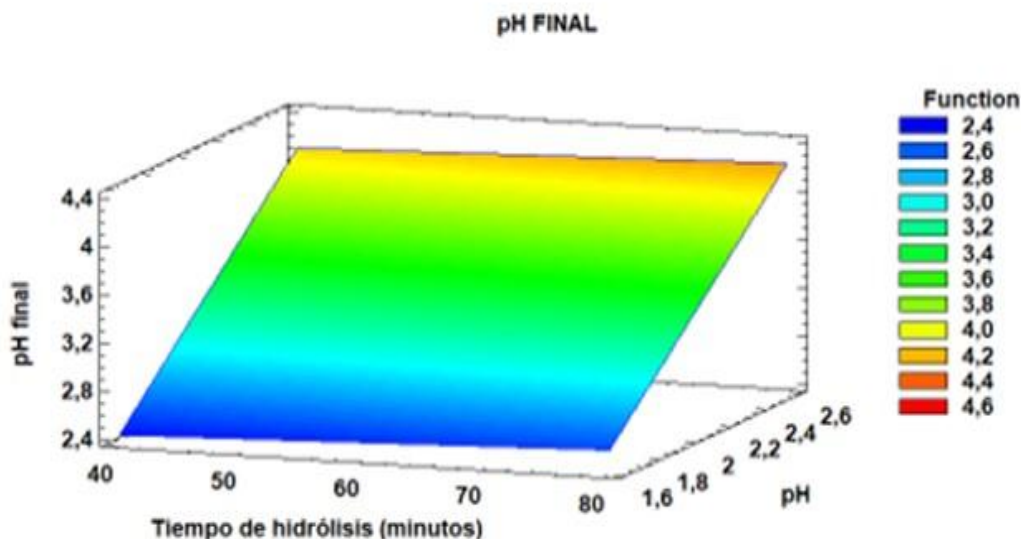


Figura 12 Diagrama de superficie: pH final obtenido a partir de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

En la tabla 23 es posible establecer que la optimización de pH y tiempo de hidrólisis para la variable pH.

Tabla 23 Optimización de la variable pH del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
hidrólisis	40,0	80,0	40,0

Fuente: Software Statgraphics

El contenido de humedad presento variación entre 0.3 y 3,5%, los niveles que contienen X forman un grupo de medios dentro del cual no hay diferencias estadísticamente significativas.

El método que se usó para discriminar entre los medios es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

El pH final de la pectina obtenida se encuentra entre 2 y 4, se presenta una diferencia significativa estadísticamente, en comparación a las pruebas realizadas con pH 1,6 y tiempos de hidrólisis de 40 y 80 minutos se obtiene en promedio un pH final de 2,4 mientras que los ensayos realizadas a pH 2,5 con tiempos de hidrólisis de 40 y 80 minutos se obtiene en promedio un pH final de 4,0. Las cadenas de pectinas de alto metoxilo pueden entonces unirse a través de interacciones hidrofóbicas de los grupos metoxilo o mediante puentes de hidrógeno, incluidos los de los grupos ácidos no ionizados, siempre que exista un material muy hidrófilo (azúcar) que retire el agua; las pectinas de alto metoxilo formarán geles a pH entre 1 y 3,5, con contenidos de azúcar entre el 55% como mínimo y el 85% (“Pectinas 1,” n.d.); por lo tanto la condición más favorable para formación de pectina a partir del exocarpio de pepino cohombro es pH 1,6 hidrólisis 80.

7.4.2 Grado metoxilo

Para la determinación del contenido de metoxilo previamente se realizó el análisis de acidez libre y posterior se realizó la titulación para porcentaje de metoxilo, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 24.

Todas las pectinas extraídas del exocarpo del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) se encuentran por encima del 12%, por esta razón son de alto metoxilo; también son conocidas como pectinas de “lenta o rápida gelificación”.

La pectina (HM) alto metoxilo es térmicamente reversible, es decir que puede estar sometida a cambios bruscos de temperatura y las propiedades no se van a alterar.

Con los resultados se concluye que la pectina extraída obtuvo un elevado porcentaje de metoxilo (12,11%) en condiciones de pH 1,6 y tiempo de hidrólisis 80, en comparación con la pectina comercial se obtuvo 6,66 %; por lo tanto, que se reconoce como de alto metoxilo; se considera apta para ser utilizada en la industria, debido a su facilidad de gelificación.

Los resultados obtenidos son acordes con el estudio realizado por Fissore Eliana N; Rojas Ana M; Gerschenson Lía N (2008) en pectinas de calabaza (*Cucurbita moschata* Duch ex Poiret) dando como resultado pectina con alto metoxilo (superior al 50%)(“Comunicación _ Conicet,” n.d.)

Tabla 24 Contenido de metoxilo (%) de pectina obtenida a partir del exocarpo del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Metoxilo (%)
CMPC1aA1	1,6	40	13,29±0,156*
CMPC1aA2	1,6	80	12,11±0,17*
CMPC1aA3	2,5	40	14,01±0,289*
CMPC1aA4	2,5	80	14,26±0,06*

Fuente Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: CM: variable contenido de metoxilo, PC: pepino cohombro y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas.

Realizando el análisis de varianza para la variable contenido metoxilo presenta el porcentaje más bajo 12,11 % siendo este el mejor resultado ya que las pectinas de alto contenido de metoxilo requieren de grandes cantidades de azúcar y un pH bajo para formar el gel. Por otro lado, las pectinas de bajo contenido de metoxilo pueden formar geles con o sin azúcar en presencia de cationes divalentes, se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 13 se puede observar que el menor porcentaje de metoxilo se presenta en la región de color amarilla- verde, la cual pertenece a la condición de pH: 1,6 tiempo de hidrólisis: 80 minutos obtenido a partir de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*). (De et al., 1999)

$$\text{Ecuación 12: } 19,4265 - 1,32593 * X - 0,00541667 * Y$$

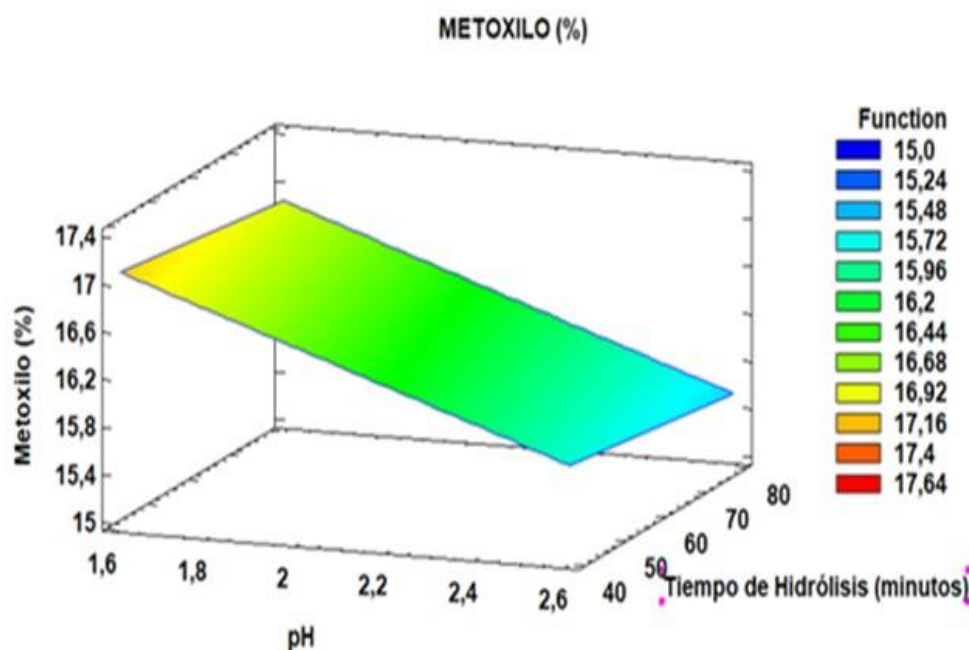


Figura 13 Diagrama de superficie: Metoxilo obtenido a partir de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Fuente: autores

En la tabla 25 se observa la optimización de pH y tiempo de hidrólisis para la variable contenido de metoxilo.

Tabla 25 Optimización variable contenido de metoxilo en pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
Hidrólisis	40,0	80,0	80,0

Fuente: Software Statgraphics

7.4.3 Grado de esterificación

Teniendo como referencia los valores de acidez libre y grado de metoxilo puede observarse en la tabla 26 el grado de esterificación de la pectina obtenida.

Tabla 26 Grado de esterificación (%) de pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Grado de esterificación (%)
GEPC1aA1	1,6	40	81,48±0,97*
GEPC1aA2	1,6	80	74,18±1,06*
GEPC1aA3	2,5	40	85,82±1,77**
GEPC1aA4	2,5	80	87,37±0,37**

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: GE: variable grado de esterificación, PC: pepino cohombro y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas y los que presentan el símbolo ** si presentan una diferencia significativa.

Realizando el análisis de varianza para la variable grado de esterificación se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 14 se puede observar que el mayor grado de esterificación se presenta en la región de color rojizo, la cual pertenece a la condición de pH:1,6 tiempo de hidrólisis: 40 minutos.

$$\text{Ecuación 13: } 19,4265 - 1,32593*Y - 0,00541667*X$$

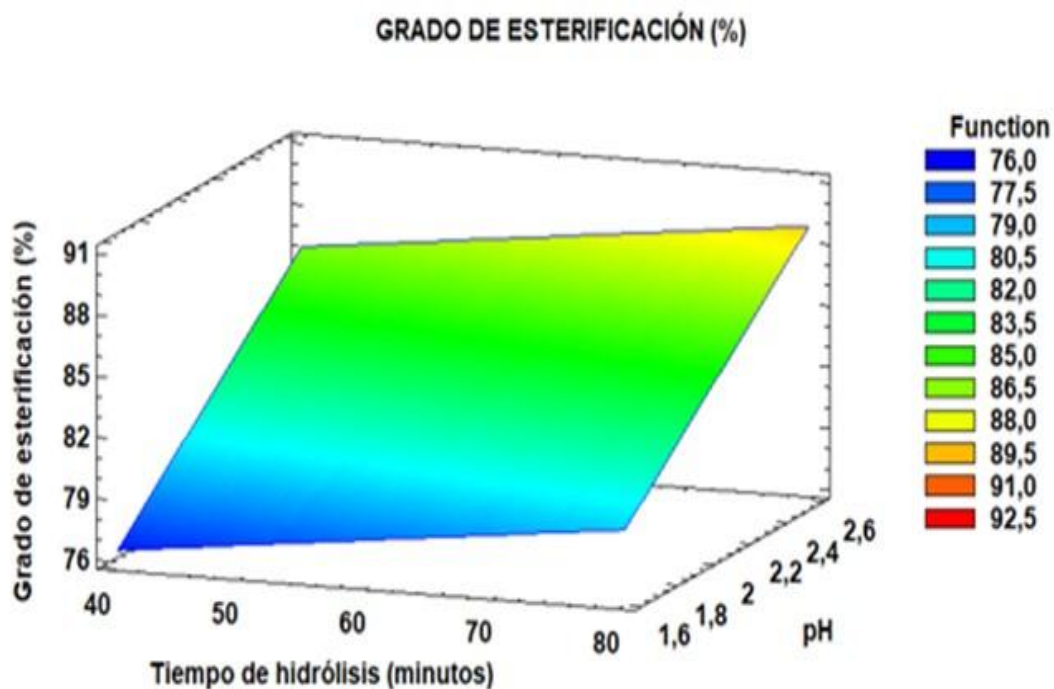


Figura 14 Diagrama de superficie: Grado de esterificación (%) obtenido a partir de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Esta tabla 27 se muestra la combinación de niveles de factor que maximiza el grado de esterificación sobre la región indicada.

Tabla 27 Optimización variable grado de esterificación en pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
Hidrólisis	40,0	80,0	40,0

Fuente: Software Statgraphics

Los resultados permiten establecer que la pectina obtenida presenta alto grado de esterificación ya que las pectinas se clasifican según su nivel, alto GE (> 50 %) y bajo GE (< 50 %) (Rinaldo, 1996), la relación entre el contenido de metoxilo y grado de esterificación sugiere la presencia de otros grupos formando complejos con los grupos carboxilos del ácido poligalacturónico, el grado de esterificación de las pectinas con alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades; en mayor temperatura mejor calidad de gelificación.

Con los resultados obtenidos en el grado de esterificación el mayor porcentaje se encuentra en 87,37% se puede indicar que la pectina extraída tiene un elevado porcentaje de esterificación en comparación con la pectina comercial (66,34%) y por lo tanto es considerada apta para ser utilizada en la industria de alimentos, debido a su grado de gelificación, adicional el grado de esterificación obtenido en el expocarpio del pepino cohombro (*Cucumis Sativus*) es superior al 53 % reportado para extracción de pectinas en calabaza perteneciente a la familia de las cucurbitáceas (Art, 2011).

7.5 Rendimiento en granadilla (*Passiflora ligularis*) método de identificación gravimétrico

La pectina fue extraída bajo las siguientes condiciones: temperatura de 60°C, pH: 1,6 y 2,5, tiempo de hidrólisis 40 y 80 minutos, para realizar el proceso de precipitación se utilizó el 60% de etanol en relación con la solución pectica, debido a que la cantidad de etanol no tienen variación significativa. Los valores de rendimiento de las muestras se exponen en la tabla 28.

Tabla 28 Rendimiento (base húmeda %) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Rendimiento (base húmeda %)
RGr1aA1	1,6	40	84,03±5,75*
RGr1aA2	1,6	80	70,81±11,24*
RGr1aA3	2,5	40	81,75±6,15*
RGr1aA4	2,5	80	77,05±2,42*

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: R: variable rendimiento, Gr: granadilla y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas.

Realizando el análisis de varianza para la variable rendimiento (base húmeda %) se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 15 se puede observar que el mayor rendimiento se presenta en la región de color rojizo, la cual pertenece a la condición de pH:1,6 tiempo de hidrólisis: 40 minutos.

Al realizar comparación del rendimiento de pectina obtenida a partir del exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*), se puede establecer que el rendimiento es mayor tanto en base húmeda como en base seca en la granadilla (*Passiflora ligularis*) ya que el pepino cohombro (*Cucumis sativus*) presenta un alto contenido de agua (96,7%) lo cual influye que presente bajos porcentajes de rendimiento, así mismo se puede indicar que los rendimientos en base seca en comparación a los de base humedad presenta menor porcentaje debido a la evaporación del agua, generando pérdida de peso obteniendo un residuo sólido en polvo.

Ecuación 14: $87,3552 + 2,19259*Y - 0,224*X$

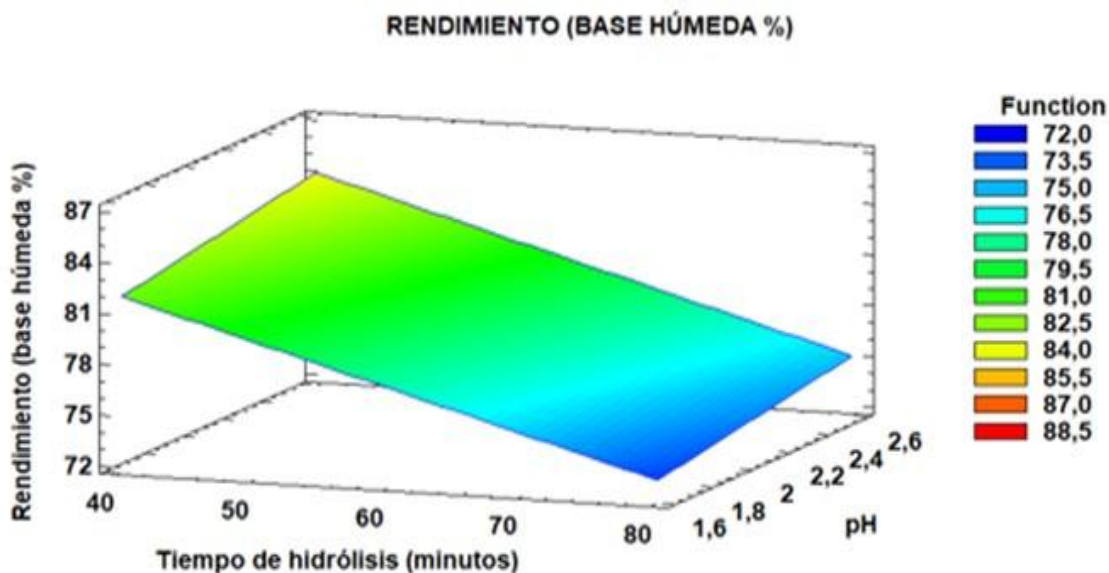


Figura 15. Diagrama de superficie: Rendimiento (base húmeda %) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

En la tabla 29 se muestra la combinación de niveles de factor que maximiza rendimiento en base húmeda en el diseño experimental planteado.

Tabla 29 Optimización variable rendimiento en base húmeda de granadilla (*Passiflora ligularis*)

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
hidrólisis	40,0	80,0	40,0

Fuente: Software Statgraphics

En la tabla 30 se presenta el Rendimiento (base seca %) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*).

Tabla 30 Rendimiento (base seca %) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Rendimiento (base seca %)
RGr1aA1	1,6	40	5,69±0,14**
RGr1aA2	1,6	80	4,74±0,081**
RGr1aA3	2,5	40	3,68±0,35*
RGr1aA4	2,5	80	3,34±0,36*

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: R: variable rendimiento, Gr: granadilla y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas y los que presentan el símbolo ** si presentan una diferencia significativa.

Realizando el análisis de varianza para la variable rendimiento se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 16 se puede observar que el mayor rendimiento se presenta en la región de color rojizo, la cual pertenece a la condición de pH:1,6 tiempo de hidrólisis: 40 minutos.

El resultado obtenido con mayor porcentaje de rendimiento es 5,69±0,14 este resultado es mayor al realizar comparación con el rendimiento de pectina de tejocote purificada ya que fue 4.3±0.3% indicando que la que la producción de pectina depende de la pureza deseada. (Lozano-Grande et al., 2016).

Ecuación 15: $9,21361 - 1,89444 * X - 0,016125 * Y$

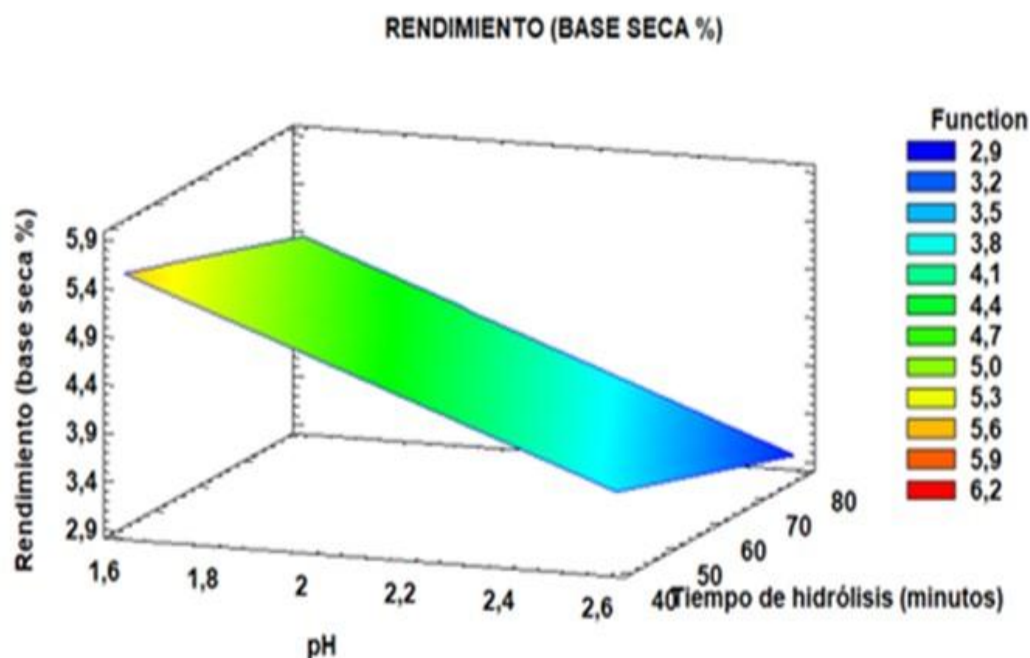


Figura 16 Diagrama de superficie: Rendimiento (base seca %) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

En la tabla 31 se muestra la combinación de niveles de factor que maximiza rendimiento en base seca en el diseño experimental planteado.

Tabla 31 Optimización variable rendimiento en base seca de granadilla (*Passiflora ligularis*)

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
hidrólisis	40,0	80,0	40,0

Fuente: Software Statgraphics

En el rendimiento en base húmeda y en base seca, en el proceso de secado se elimina la totalidad del agua que contiene la pectina, al realizar comparación con los rendimientos obtenidos en la investigación realizada por Nancy Chasquibol Silva (2008) (Silva et al., 2008) se obtiene como rendimiento a pH 2,5 hidrólisis 75 minutos rendimiento de 21,6% pero no se

especifica si el rendimiento corresponde en base seca o en base húmeda; así mismo al comprar los aspectos físicos presentan cambios significativos como se puede observar en la figura 17.

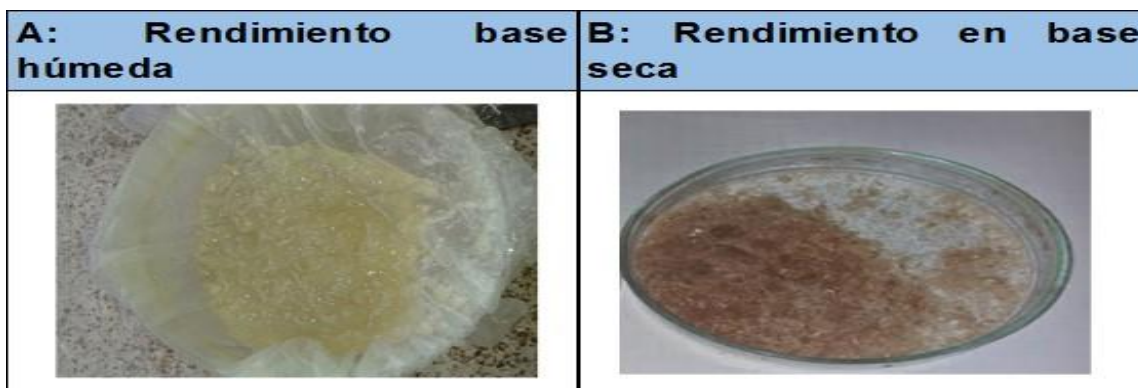


Figura 17 Rendimiento de la pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) en base seca y en base humedad.

Fuente: autores

Teniendo en cuenta que la base húmeda de la pectina presenta color amarillo claro y aspecto gelatinoso después del proceso de secado se torna de color amarillo oscuro y su aspecto es sólido adicional son notables los cristales por los cuales se identifica que hay presencia de pectina, así mismo se identifica que a tiempos de extracción constantes la disminución del pH produce un incremento del rendimiento de la pectina extraída, el tiempo de hidrólisis no presenta diferencias relevantes en cuanto al rendimiento versus el análisis estadístico.

De acuerdo a los ensayos realizados el máximo porcentaje de pectina extraída corresponde a la muestra obtenida a pH 1,6 y tiempo de 40 minutos y el mínimo corresponde a las muestras de pH 2,5 y tiempo de hidrólisis 80 minutos.

7.5.1 Contenido de humedad y pH

Se determinó el contenido de humedad en el mesocarpio de la gradilla (*Passiflora ligularis*), en la muestra natural y en la muestra de pectina extraída a partir del mesocarpio como se muestra en las tablas 32 y 33.

Tabla 32 Contenido de humedad mesocarpio de la gradilla (*Passiflora ligularis*) natural

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Humedad (%)
Mesocarpio de la granadilla	N.A	N.A	6,58±1,15

Fuente: autores

Se determinó por triplicado el contenido de humedad en el mesocarpio de la granadilla (*Passiflora ligularis*) como se puede ver en la Figura 18 obtenido como resultado promedio 6,67%, el porcentaje de humedad.

**Figura 18.** Humedad (%) en el mesocarpio de la granadilla (*Passiflora ligularis*) natural

Fuente: autores

Tabla 33 Humedad (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Humedad (%)
HGraA1	1,6	40	1,04±0,295*
HGraA2	1,6	80	0,99±0,59*
HGraA3	2,5	40	0,92±0,29*
HGraA4	2,5	80	0,61±0,15*

Fuente: autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: H: variable humedad, Gr: granadilla y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas.

Realizando el análisis de varianza para la variable humedad se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 19 se puede observar que el mayor porcentaje de humedad se presenta en la región de color rojizo, la cual pertenece a la condición de pH: 2,5 tiempo de hidrólisis: 80 minutos.

$$\text{Ecuación 16: } 1,19657 - 0,27963 * X + 0,00445833 * Y$$

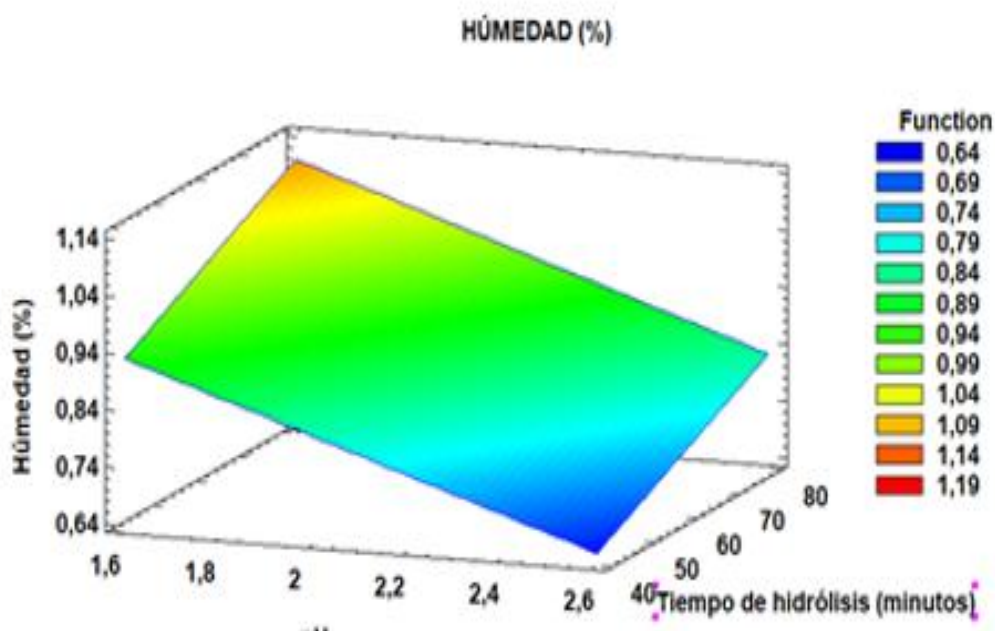


Figura 19. Diagrama de superficie: humedad (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*).

El contenido de humedad de la pectina extraída oscila entre 0,61 % y 1,04%, al comparar el resultado con la pectina comercial se observa que es similar ya que se obtuvo un valor de 0,57%. Al comparar el resultado obtenido se encuentra variación significativa de acuerdo a la investigación realizada por Nancy Chasquibol Silva (2008)(Silva et al., 2008) en donde se

obtiene como resultado de humedad 17,5% la diferencia se debe a que en esta investigación se realizó la determinación de humedad una vez la pectina se encontraba en polvo, previamente ya había tenido un proceso de secado. Teniendo en cuenta que el resultado de humedad es de gran importancia es necesario asegurar que la muestra sea pesada en balanza analítica para obtener pesos exactos, la cantidad de agua que contienen las pectinas puede acelerar o reducir la velocidad de; es decir, que una muestra que contiene un mayor porcentaje de humedad producirá más vapor de agua al calentarla que una que contiene menos.

En la tabla 34 se muestra la combinación de niveles de factores que presenta las mejores condiciones para la variable humedad.

Tabla 34 Optimización variable humedad de granadilla (*Passiflora ligularis*)

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	2,5
hidrólisis	40,0	80,0	80,0

Fuente: Software Statgraphics

En la tabla 35 se observan los resultados obtenidos en la variable pH para de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

Tabla 35 pH de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	pH final
pHGraA1	1,6	40	2,6±0,23*
pHGraA2	1,6	80	2,85±0,27*
pHGraA3	2,5	40	3,74±0,242**
pHGraA4	2,5	80	4,24±0,057**

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: pH: variable pH, Gr: granadilla y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas y los que presentan el símbolo ** si presentan una diferencia significativa.

Realizando el análisis de varianza para la variable pH se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 20 se puede observar que el mayor valor de pH se presenta en la región de color rojizo, la cual pertenece a la condición de pH: 1,6 tiempo de hidrólisis: 80 minutos.

Es de resaltar que durante nuestro proceso de extracción se mantiene un pH 1,6 y 2,5 de acuerdo al diseño de experimental; es importante tener en cuenta que durante el proceso de extracción se hidrolizan enlaces éster, específicamente el metil éster y el acetato al cual la pectina se puede esterificar por sus grupos hidroxil. Adicional a esto es necesario tomar el pH final de la pectina extraída ya que es sometida a un proceso de secado en el cual se elimina el agua, modificando de esta manera el valor de pH (D'Addosio et al., 2008)

$$\text{Ecuación 17: } 1,02981 + 1,40741*Y - 0,00933333*X$$

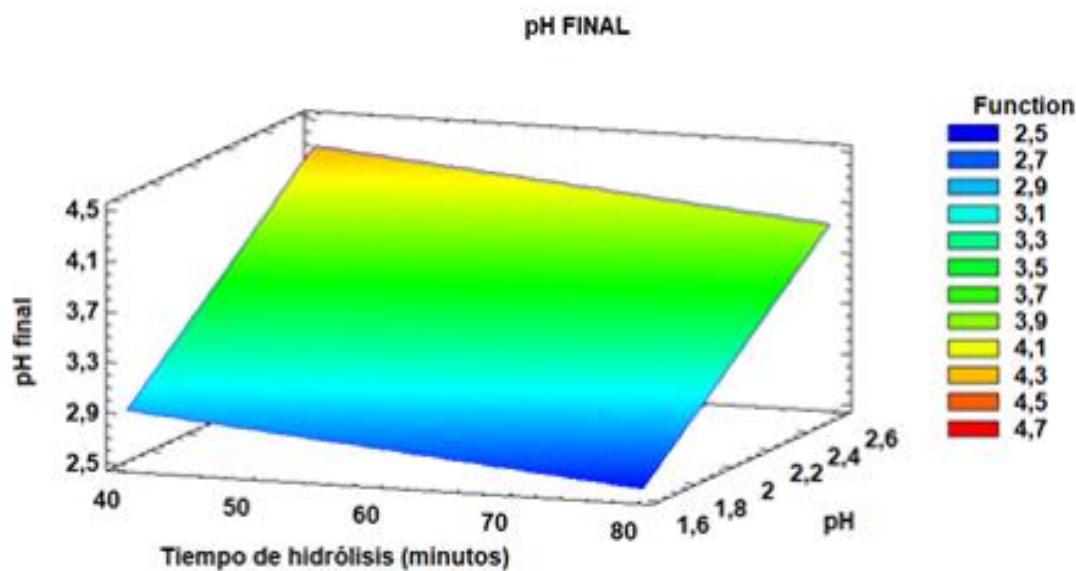


Figura 20 Diagrama de superficie: pH de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

El pH final de la pectina obtenida se encuentra entre 2 y 4 al compararlo con la pectina comercial se obtuvo un valor de 3,6; por tanto se puede resaltar que el pH de 1,6 con tiempo de hidrólisis 80 minutos está dentro de los límites indicados por la pectina comercial, la cual posee características aptas para ser empleada en la industria de alimentos, de acuerdo a la literatura se puede indicar que en condiciones de pH bajo se evita el crecimiento de microorganismos y aumenta sus propiedades para gelificar lo cual hace que se pueda utilizar a nivel industrial (D'Addosio et al., 2008). En la tabla 36 se observa las condiciones óptimas para la variable pH final.

Tabla 36 Optimización de la variable pH final

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
hidrólisis	40,0	80,0	80,0

Fuente: Software Statgraphics

7.5.2 Grado de Metoxilo

Para la determinación del contenido de metoxilo previamente se realizó análisis de acidez libre y posterior se titula para definir porcentaje de metoxilo, ver resultados en la tabla 37.

Tabla 37 Contenido de metoxilo (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de la granadilla (*Passiflora ligularis*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Metoxilo (%)
CMGraA2	1,6	40	11,33±0,287*
CMGraA3	1,6	80	11,72±0,26*
CMGraA4	2,5	40	11,58±0,26**
CMGraA5	2,5	80	11,67±0,42**

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: CM: variable contenido metoxilo, Gr: granadilla y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas y los que presentan el símbolo ** si presentan una diferencia significativa.

Realizando el análisis de varianza para la variable contenido metoxilo se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 21 se puede observar que el mayor porcentaje de metoxilo se presenta en la región de color amarilla -rojizo, la cual pertenece a la condición de pH: 1,6 tiempo de hidrólisis: 80 minutos.

$$\text{Ecuación 18: } 7,84861 + 1,57222*Y + 0,0592083*X$$

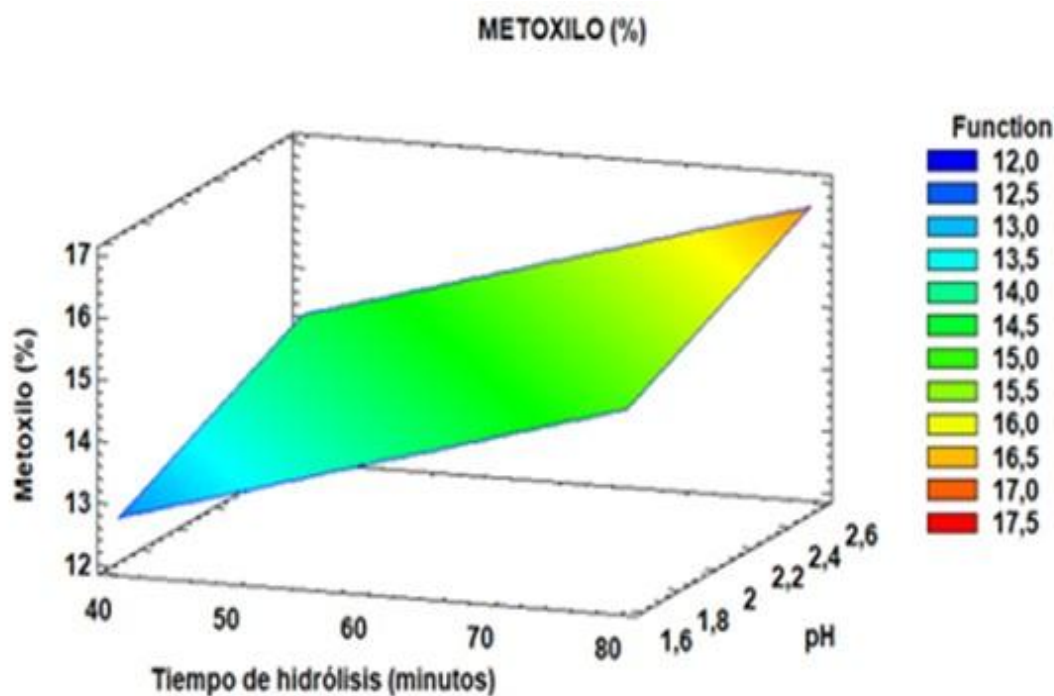


Figura 21 Diagrama de superficie: Contenido de metoxilo (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

Todas las pectinas extraídas del mesocarpio de la granadilla (*Passiflora ligularis*) se encuentran con contenido de metoxilo aproximadamente en 11,5%, por esta razón son de alto

metoxilo; al realizar la comparación con el resultado obtenido en la pectina comercial 6,66% es posible establecer es de bajo metoxilo. El resultado obtenido en el presente trabajo es satisfactorio ya que teniendo en cuenta la especificación internacional (USP) para grado de metoxilación es 6,7%; adicional es congruente de acuerdo a la investigación realizada por Nancy Chasquibol Silva (2008) (Silva et al, 2008)

Según Pilgrim (1991); citado por Devia (2003: 22), afirma: Las pectinas con alto índice de metóxilo, que determina el grado de esterificación con radicales metílicos, contienen más de un 50% de unidades del ácido poligalacturónico esterificadas y por lo tanto no reaccionan con iones calcio. El poder de gelación depende entre otros, del contenido ácido, del tipo de pectina y de la cantidad de sólidos solubles, que generalmente es más del 55%.

Con los resultados se concluye que la pectina extraída obtuvo un elevado porcentaje de metoxilo (11,33 %) en condiciones de pH 1,6 y tiempo de hidrólisis 40, en comparación con la pectina comercial se obtuvo 6,66 %; por lo tanto, que se reconoce como de alto metoxilo; también se considera apta para ser utilizada en la industria, debido a su facilidad de gelificación. (Contribuci & Geotrichum, 2014). En la tabla 38 se observa la optimización de pH y tiempo de hidrólisis para la variable contenido de metoxilo.

Tabla 38 Optimización variable contenido de metoxilo en granadilla (*Passiflora ligularis*)

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
hidrólisis	40,0	80,0	80,0

Fuente: Software Statgraphics

7.5.3 Grado de esterificación

Teniendo como referencia los valores de acidez libre y grado de metoxilo pueden observar en la tabla 39 el grado de esterificación de la pectina obtenida.

Tabla 39 Grado de esterificación (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Grado de esterificación (%)
GEGraA1	1,6	40	69,45±1,72*
GEGraA2	1,6	80	71,79±1,58*
GEGraA3	2,5	40	70,98±1,6*
GEGraA4	2,5	80	71,52±2,58*

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: GE: variable grado de esterificación, Gr: granadilla y aA1: número de ensayo.

De acuerdo con la prueba LSD los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas.

Los resultados permiten establecer que la pectina obtenida presenta alto grado de esterificación, de acuerdo con su alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades, teniendo en cuenta que a mayor grado de esterificación, son mejores las propiedades de gelificación.

Con los resultados se concluye que la pectina extraída obtuvo un elevado porcentaje de esterificación (71,79%) en condiciones de pH 1,6 y tiempo de hidrólisis 80, en comparación con la pectina comercial se obtuvo 66,34%; por lo tanto que se reconoce como de alto metoxilo. En la investigación realizada por Nancy Chasquibol Silva (2008) (Silva et al., 2008) el resultado fue de 88,79% a pH 2,5 hidrólisis 75 minutos y temperatura 90°C, la diferencia respecto a los resultados del presente trabajo se debe a la variación de temperatura (60°C) y tiempo de hidrólisis, se puede concluir que en este caso la temperatura afecta el grado de esterificación.

Se realizó una comparación con el grado de esterificación de tejocote purificada (YP) siendo de 76.9±0.1%, (Lozano-Grande et al., 2016) en la investigación actual el mayor grado de esterificación fue de 71,52±2,58 %, esta diferencia obedece a la condición de extracción de pectina del tejocote: tiempo de hidrólisis: 45 minutos y temperatura de 85°C, estas

condiciones influyen de manera significativa en el resultado del grado de esterificación. Sin embargo, los dos tipos de pectina tienen alto grado de esterificación.

Las pectinas analizadas pueden ser empleadas en la industria de alimentos en el procesamiento de mermeladas, confituras y jaleas, debido a que la habilidad de la pectina a gelificarse depende mayormente de su grado de metilación, los mecanismos de la gelificación de las pectinas dependen del grado de metoxilación, las pectinas de alto metoxilo se gelifican debido a interacciones hidrofóbicas y a los puentes de hidrógeno entre las moléculas de la pectina, a bajo pH (≈ 3) y con alto contenido de azúcar (Oakenfull, 1991: 87-108). En contraste, las pectinas de bajo metoxilo forman gel. Realizando el análisis de varianza para la variable grado de esterificación se establece que el tiempo y pH son significativos ($P \leq 0,05$), en la figura 22 se puede observar que el mayor grado de esterificación se presenta en la región de color rojizo, la cual pertenece a la condición de pH: 1,6 tiempo de hidrólisis: 80 minutos.

$$\text{Ecuación 19: } 71,6797 + 0,694444*Y - 0,036125*X$$

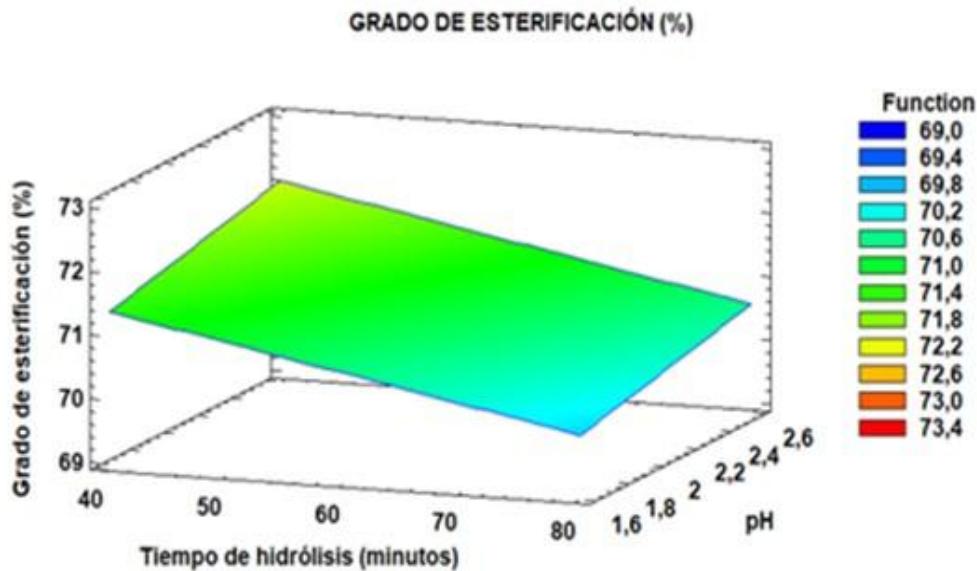


Figura 22 Diagrama de superficie: Grado de esterificación (%) de pectina obtenida a partir del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

En la tabla 40 se observa la optimización de pH y tiempo de hidrólisis para la variable grado de esterificación.

Tabla 40 Optimización variable contenido de metoxilo en granadilla (*Passiflora ligularis*)

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6
Hidrólisis	40,0	80,0	80,0

Fuente: Software Statgraphics

7.6 Determinación colorimétrica concentración método 2 colorimétrico en pepino cohombro (*Cucumis sativus*)

Se realizó determinación de la concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 g de muestra fresca, empleando el método colorimétrico, como se puede observar en la figura 23 y en la tabla 41

Tabla 41 Determinación de la concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Concentración
CPC2aA1	1,6	40	2,67±0,08
CPC2aA2	1,6	80	2,62±0,036
CPC2aA3	2,5	40	2,55±0,026
CPC2aA4	2,5	80	2,52±0,015

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: C: variable concentración, PC: pepino cohombro, 2: método 2 y aA1: número de ensayo.

$$\text{Ecuación 20: } 2,88083 - 0,116667 * X - 0,000875 * Y$$

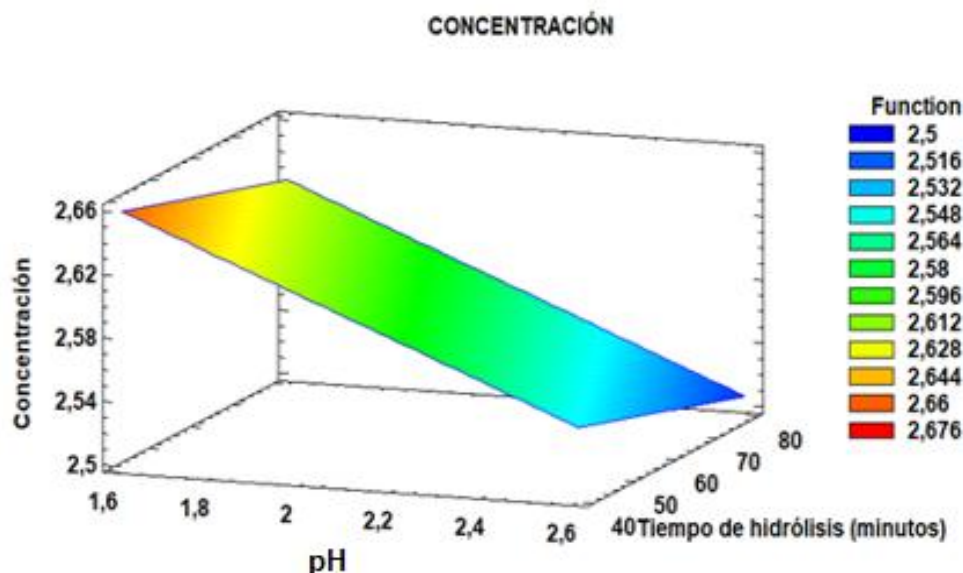


Figura 23 Diagrama de superficie: Concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*).

En la tabla 42 se muestra la combinación de niveles de factor que maximiza la concentración sobre la región indicada y el diseño experimental planteado.

Tabla 42 Optimización de la concentración de AUG en de pepino (*Cucumis sativus*)

hidrólisis	40,0	80,0	40,0
<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	1,6

Fuente: Software Statgraphics.

El mayor porcentaje de concentración ($2,67 \pm 0,08\%$) se presenta en pH 1,6 con tiempo de hidrólisis 40 minutos y la concentración más baja (2,52 %) se presenta en pH 2,5 tiempo de hidrólisis 80 minutos, el pepino (*Cucumis sativus*) posee gran cantidad de fibra que se encuentra en el mesocarpio logrando obtener un gran porcentaje de pectina. De acuerdo con la revisión del estado de arte (Galván Iván et al., 2016) se establece que el mayor rendimiento de pectina total en las muestras de pepino (*Cucumis sativus*) se encuentra en el exocarpio.

7.6.1 Concentración método 2 colorimétrico en granadilla (*Passiflora ligularis*)

Se realizó determinación de la concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 g de muestra fresca, empleando el método colorimétrico como se presenta en la figura 24 y tabla 43.

Tabla 43 Determinación de la concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 en mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*).

Codificación	pH	Hidrólisis (minutos)	Concentración
CGr2aA1	1,6	40	2,78±0,052
CGr2aA2	1,6	80	2,78±0,053
CGr2aA3	2,5	40	2,91±0,034
CGr2aA4	2,5	80	2,9±0,03

Fuente: Autores

Las abreviaturas presentadas en la tabla hacen referencia a la codificación de los tratamientos empleados de tal forma que: C: variable concentración, Gr: granadilla, 2: método 2 y aA1: número de ensayo..

$$\text{Ecuación 21: } 71,6797 + 0,694444*Y - 0,036125*X$$

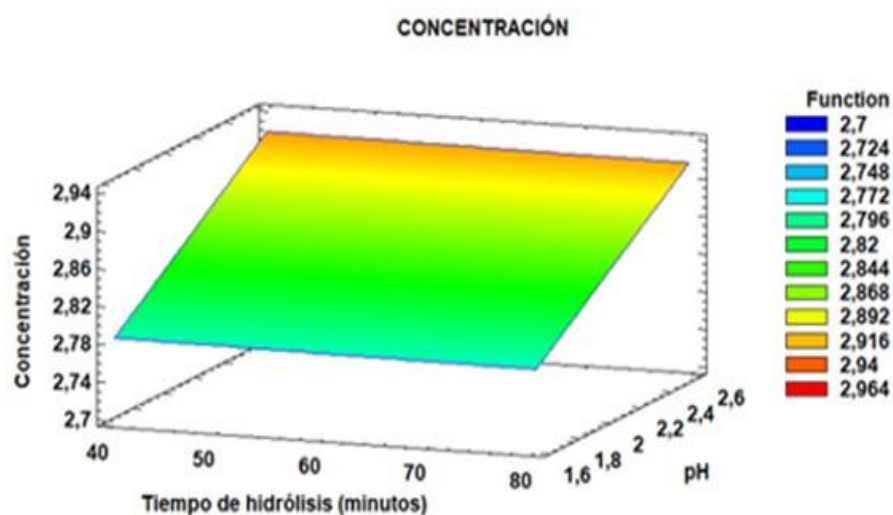


Figura 24 Diagrama de superficie: Concentración de miligramos de ácido galacturónico/100 de mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*)

En la tabla 40 se muestra la combinación de niveles de factor que maximiza la concentración sobre la región indicada. La mejor combinación es a pH 2,5, hidrólisis 40.

En la tabla N° 44 se puede observar que el mayor porcentaje de concentración $2,91 \pm 0,034$) se presenta en pH 2,5 con tiempo de hidrólisis 40 minutos y la concentración más baja (2,78 %) se presenta en pH 1,6 tiempo de hidrólisis 40 minutos. (Contribuci & Geotrichum, 2014). La granadilla (*Passiflora ligularis*) presenta sus mejores rendimientos y concentraciones en el mesocarpio, siendo esta una gran alternativa para la producción de pectinas. (Piedade et al, 2010).

Tabla 44 Optimización de la concentración de AUG en La granadilla (*Passiflora ligularis*)

<i>Factor</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Optimum</i>
pH	1,6	2,5	2,5
hidrólisis	40,0	80,0	40,0

Fuente: Software Statgraphics

En la comparación de los resultados de las variables fisicoquímicas analizadas como se puede observar en la tabla 45, la pectina obtenida a partir de mesocarpio granadilla (*Passiflora ligularis*) presenta mejores condiciones de rendimiento en base húmeda, humedad, pH, grado de metoxilo y grado de esterificación respecto a la pectina obtenida a partir del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*), lo cual indica que puede ser una fuente potencial para ser empleada a nivel industrial. Adicional a esto, la pectina obtenida a partir de la fruta y hortaliza empleadas en esta investigación presentan características fisicoquímicas más favorables en comparación con la pectina cítrica empleado como patrón.

Tabla 45 Comparación de resultados de las variables fisicoquímicas analizadas

Material	Condiciones	Rendimiento base Humedad	Rendimiento base seca	Humedad	pH	Grado de metoxilo	Grado de esterificación
Exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>)	pH 1,6 H 40	2,95±0,032**	0,54±0,24*	0,96±0,38*	2,6±0,032*	13,29±0,156*	81,48±0,97*
	pH 1,6 H 80	6,98±0,72**	1,27±0,6*	1,21±0,41*	2,38±0,16*	12,11±0,17*	74,18±1,06*
	pH 2,5 H 40	3,41±0,042*	0,32±0,21*	1,44±0,98*	4,03±0,12**	14,01±0,289*	85,82±1,77**
	pH 2,5 H 80	2,43±0,19*	0,37±0,08*	0,53±0,39*	4,01±0,26**	14,26±0,06*	87,37±0,37**
	pH 1,6 H 40	84,03±5,75*	5,69±0,14**	1,04±0,295*	2,6±0,23*	11,33±0,287*	69,45±1,72*
	pH 1,6 H 80	70,81±11,24*	4,74±0,081**	0,99±0,59*	2,85±0,27*	11,72±0,26*	71,79±1,58*
Mesocarpio granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>)	pH 2,5 H 40	81,75±6,15*	3,68±0,35*	0,92±0,29*	3,74±0,242**	11,58±0,26**	70,98±1,6*
	pH 2,5 H 80	77,05±2,42*	3,34±0,36*	0,61±0,15*	4,24±0,057**	11,67±0,42**	71,52±2,58*
Pectina comercial	N.A	N.A	N.A	0,58±0,23	3,68±0,093	6,67±0,48	66,34±1,5

Fuente: Autores

Para los tratamientos que presentan el símbolo * no presentan diferencias significativas y los que presentan el símbolo ** si presentan una diferencia significativa.

7.6.2 Análisis IR

El análisis de espectroscopia infrarroja se fundamenta en el hecho de que las moléculas tienen frecuencias a las cuales rotan y vibran, es decir, los movimientos de rotación y vibración moleculares tienen niveles de energía discretos, cada sustancia presenta un espectro como consecuencia de las vibraciones de los grupos funcionales que la conforman, las diferentes frecuencias obtenidas generan un espectro que es característico de cada sustancia.

En esta investigación fue de gran importancia realizar análisis de infrarrojo en la pectina obtenida a partir de exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y del mesocarpio de

granadilla (*Passiflora ligularis*) teniendo como patrón pectina cítrica comercial, ya que por medio de este estudio se comprobó la presencia de pectina.

Los resultados de espectros obtenidos demuestran presencia de pectina, los espectros de la pectina obtenida a partir de exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) son similares a los picos reportados espectro de la pectina comercial.

Al realizar un paralelo en entre los espectros de la figura 26 y figura 27 son similares mostrando picos de 3404 cm^{-1} , 3403 cm^{-1} , 3346 cm^{-1} , 3317 cm^{-1} indicando estiramiento de grupos O-H; en los picos 2936 cm^{-1} y 2946 cm^{-1} indican estiramiento C – H, en la pectina comercial (figura 24) se presenta un pico de 2932 cm^{-1} el cual es muy similar con la pectina obtenida.; estas bandas son similares a las reportadas en la investigación realizada por (Silva et al., 2008). En la figura 25 se presentan los picos en 1072 cm^{-1} , 1098 cm^{-1} , 1139 cm^{-1} 1045 cm^{-1} y 1020 cm^{-1} indicando el grupo C-O, este mismo grupo también se encuentra en los espectros de las figuras 26 y 27 presentan picos en 1063 cm^{-1} , 1041 cm^{-1} , 1100 cm^{-1} y 1138 cm^{-1} .

La muestra de pectina comercial y los espectros correspondientes a las figuras 26 y 27, indican la presencia del grupo C-H, presentado picos en 2932 cm^{-1} , 2946 cm^{-1} , 2913 cm^{-1} , 2936 cm^{-1} y 2904 cm^{-1}

Al realizar comparación de los espectros, en la figura 25 y 27 presencia picos 1625 cm^{-1} , 1627 cm^{-1} , indicando la presencia del grupo C=O, mientras que en la figura 26 presenta ausencia de este grupo debido al bajo rendimiento.

Se evidencia una diferencia en la región característica de los ácidos carboxílicos libres y esterificados ($1650 - 1750\text{ cm}^{-1}$), una ausencia del alargamiento del pico en esa región en la figura 26, indicando que la pectina contiene bajo índice de metoxilo; mientras que en la figura 27 se observa presencia de este grupo en el pico 1750 .

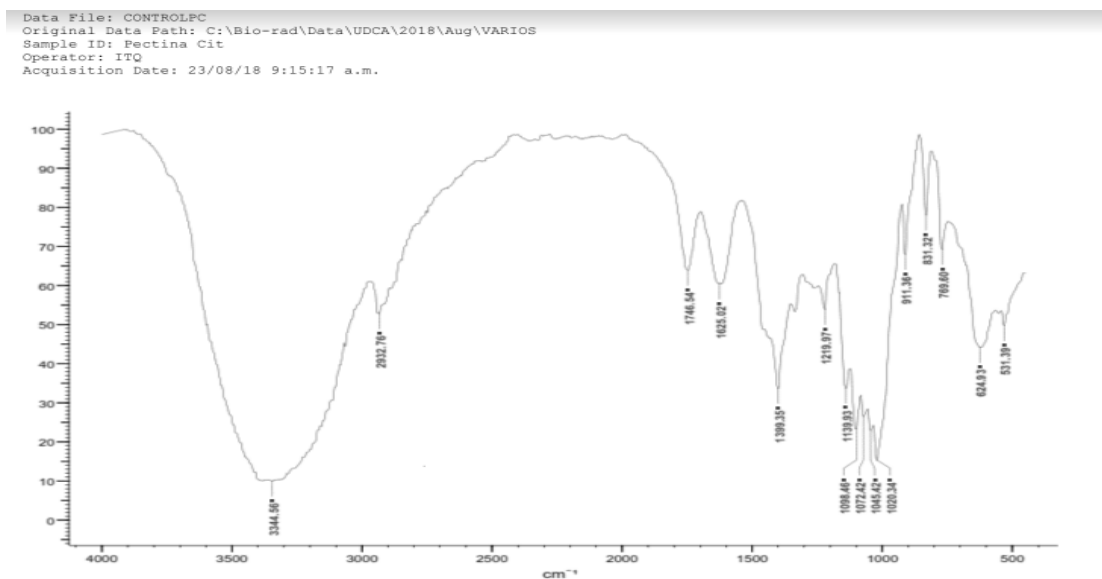


Figura 25 Análisis IR en pectina cítrica comercial

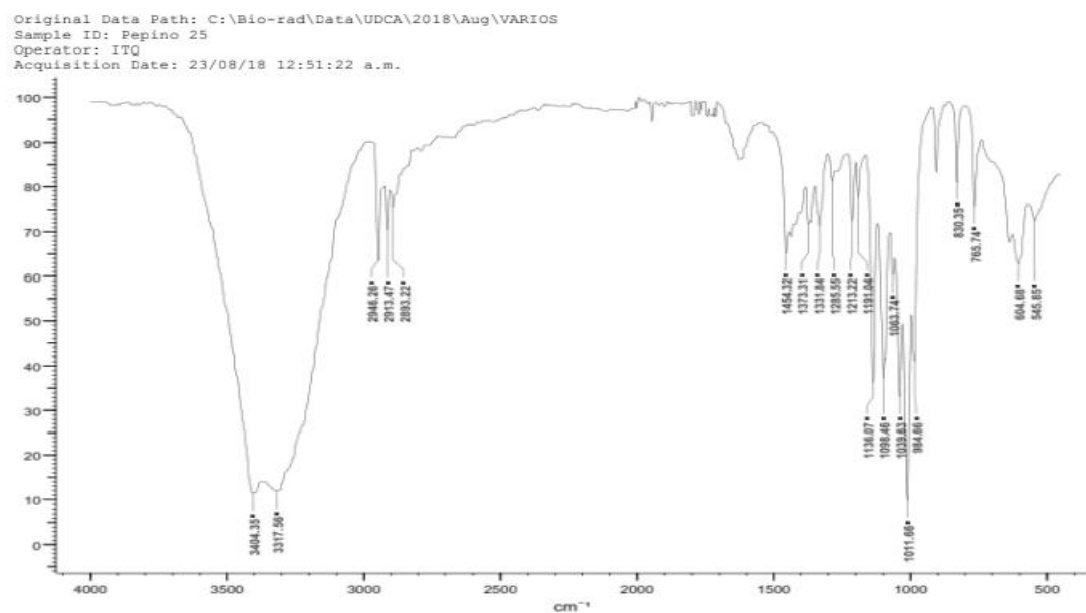


Figura 26 Análisis de IR en pectina obtenida a partir de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) a pH 2,5, hidrólisis: 80 minutos

Data File: Pep-pect16
 Original Data Path: C:\Bio-rad\Data\UDCA\2018\Aug\VARIOS
 Sample ID: Pepino 16
 Operator: ITQ
 Acquisition Date: 23/08/18 11:43:17 a.m.

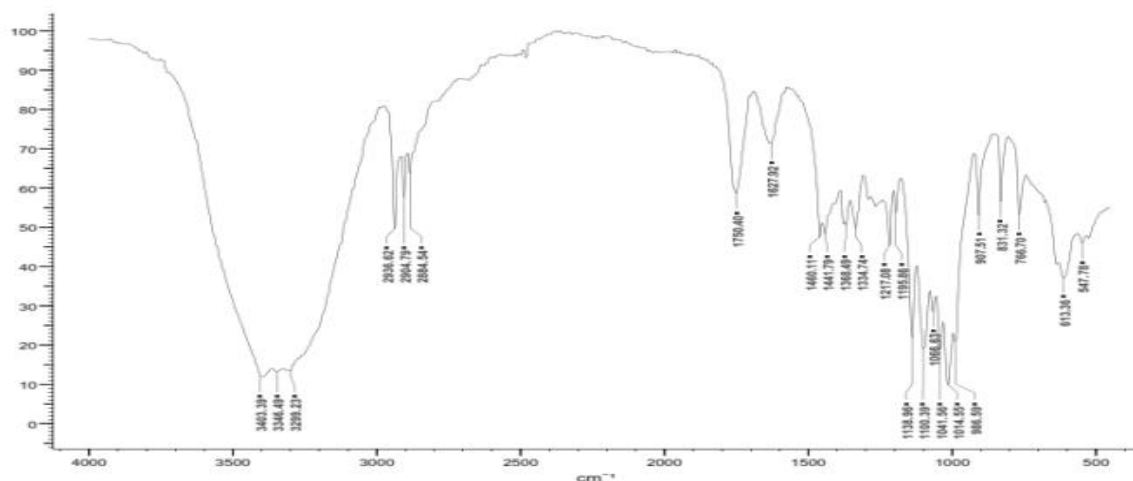


Figura 27 Análisis de IR en pectina obtenida a partir de exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) a pH 1,6, hidrólisis: 40 minutos

En las figuras 28 y 29 correspondientes a los espectros de la pectina obtenida a partir de granadilla se encuentran picos en 3412 cm^{-1} , 3326 cm^{-1} indicando estiramiento de grupos O-H, en los picos de 2945 cm^{-1} , 2914 cm^{-1} y 2892 cm^{-1} se indica la presencia del grupo CH. Realizando un paralelo entre los espectros de la pectina obtenida a partir de granadilla (figura 28 y 29) el espectro de pectina comercial (figura 25) se establece que en los tres espectros hay presencia del grupo C=O ácido, en los picos 1625 cm^{-1} y 1631 cm^{-1} . En la figura 29 se encuentran los picos 1148 cm^{-1} , 1111 cm^{-1} , 1079 cm^{-1} los cuales indican la presencia de C-O, este grupo también se encuentra presente en la muestra de pectina comercial (figura 25).

Los resultados obtenidos son satisfactorios ya que son acorde a la investigación realizada por Nancy Chasquibol Silva (2008), los espectros presentaron características similares; ya que mostraron un alargamiento pronunciado entre $1626\text{--}1646\text{ cm}^{-1}$, exactamente en el pico 1631 cm^{-1} , que corresponde a la banda de vibración de tensión simétrica del grupo COO—.

Se puede concluir que todas las muestras presentan pectina y son similares a la muestra patrón trabajada lo cual indica que los frutos trabajados son buena fuente de pectina. Los porcentajes de diferencia entre los espectros se debe a la posible presencia de azúcares que se pudieron haber producido durante el proceso de hidrólisis y separación.

Data File: Gra-pect25
 Original Data Path: C:\Bio-rad\Data\UDCA\2018\Aug\VARIOS
 Sample ID: Granadilla 25
 Operator: ITQ
 Acquisition Date: 23/08/18 3:52:07 p.m.

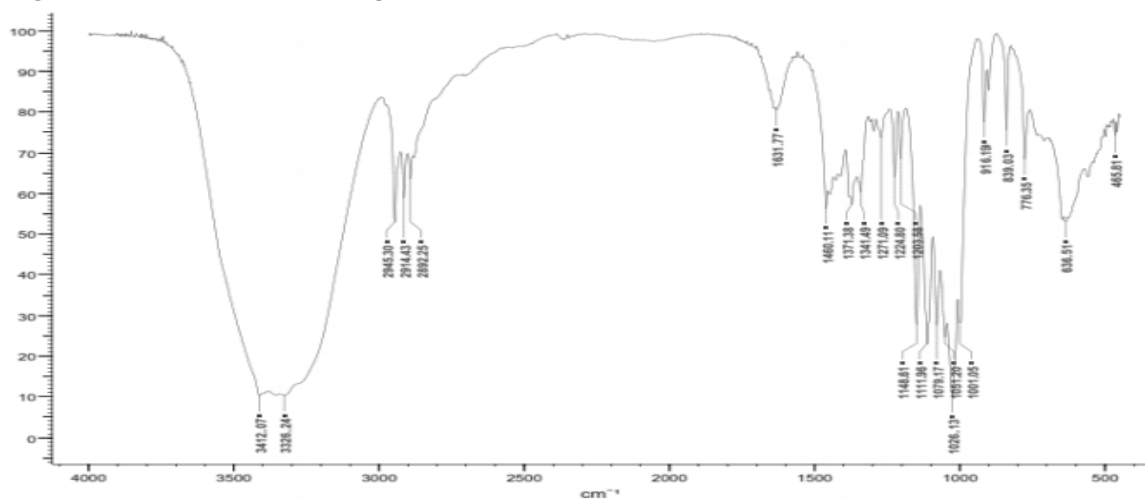


Figura 28 Análisis IR en pectina obtenida a partir de mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) pH 2,5 hidrólisis: 80 minutos.

Data File: Gra-pect16
 Original Data Path: C:\Bio-rad\Data\UDCA\2018\Aug\VARIOS
 Sample ID: Granadilla 16
 Operator: ITQ
 Acquisition Date: 23/08/18 2:31:56 p.m.

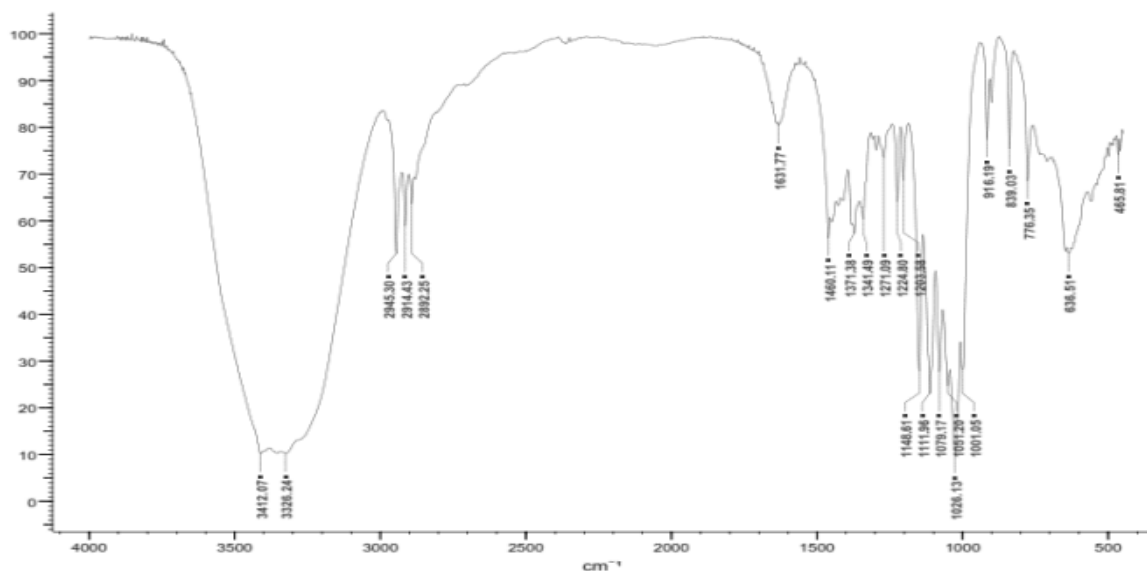


Figura 29 Análisis IR en pectina obtenida a partir de mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) pH 1,6 hidrólisis:40 minutos.

7.6.2.1 Comparación química de resultados

Los espectros infrarrojos indican que las muestras de pectina obtenidas a partir del exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis Sativus*) y mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) son similares al espectro de la pectina cítrica comercial empleada como patrón, lo cual puede indicar que todas las muestras presentan pectina y son similares a la muestra patrón trabajada lo cual indica que la hortaliza y el fruto trabajado son buena fuente de pectina. Los porcentajes de diferencia entre los espectros se debe a la posible presencia de azúcares que se pudieron haber producido durante el proceso de hidrólisis y separación.

Los espectros presentan picos de los grupos funcionales carboxilo como: -OH, C-H, C=O, C-O a excepción de la muestra correspondiente a la figura 26 que presenta ausencia de grupo C=O, y de ácidos carboxílicos libres. Los análisis de los espectros corresponden con a la caracterización fisicoquímica realizada (rendimiento, pH, grado de metoxilo y grado de esterificación) ya que la pectina obtenida a partir de mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) presenta mejores características que pectina obtenidas a partir del exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis Sativus*), como se puede observar en la tabla 46.

Tabla 46 Comparación de resultados analíticos químicos de la pectina obtenida(“Optimization of aqueous pectin extraion from .pdf,” n.d.)

Granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>)	Pepino cohombro (<i>Cucumis Sativus</i>)	Pectina comercial
<p>*Estiramiento de grupos O-H, presentado picos en 3412 cm^{-1}, 3326 cm^{-1}</p> <p>*Presencia del grupo C-H: picos de 2945 cm^{-1}, 2918 cm^{-1} y 2892</p> <p>*Presencia del grupo C=O ácido: pico 1631 cm^{-1}</p>	<p>*Estiramiento de grupos O-H, indicando picos de 3404 cm^{-1}, 3403 cm^{-1}, 3346 cm^{-1}, 2946 cm^{-1} y 2913 cm^{-1}</p> <p>*En los picos 2936 cm^{-1} y 2946 cm^{-1} indican estiramiento C – H, en la pectina</p> <p>*Presencia de grupo C-O presentan picos en 1063 cm^{-1}, 1191 cm^{-1}, 1041 cm^{-1}, 1100 cm^{-1} y 1138 cm^{-1}.</p>	<p>*Indicando estiramiento de grupos O-H presentado pico en 3344 cm^{-1}</p> <p>*Indican estiramiento C – H, presenta un pico de 2932 cm^{-1}</p> <p>*Presencia del grupo C-O: picos en 1072 cm^{-1}, 1098 cm^{-1}, 1139 cm^{-1}</p>
<p>*Presencia de C-O, picos en: 1148 cm^{-1}, 1111 cm^{-1}, 1079 cm^{-1}</p> <p>*Presencia de ácidos carboxílicos libres y esterificados</p>	<p>*Presencia del grupo C-H, presentado picos en 2932 cm^{-1}, 2946 cm^{-1}, 2913 cm^{-1}, 2893 cm^{-1}, 2936 cm^{-1}, 2904 cm^{-1} y 2884 cm^{-1}</p> <p>* Ausencia de grupo C=O, (figura 25) y ausencia de ácidos carboxílicos libres</p>	<p>*Presencia del grupo C=O: pico 1746</p> <p>*Presencia del grupo C=O ácido: presentando pico en: 1625</p>

Fuente: Autores

7.7 Resultados del balance de masas

Para el balance de masas en la metodología de identificación gravimétrica en la evaluación de las sustancias pécticas provenientes del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y el mesocarpio granadilla (*Passiflora ligularis*) se monitorearon aspectos como: tiempos de hidrólisis y pH.

Para determinar el costo del proceso se tuvieron en cuenta las diferentes entradas como:

- Agua: el valor asignado tiene como referencia el costo por metro cubico para el año 2018 de la empresa de servicios públicos de Bogotá D.C. equivalente a \$3790 m³ (“Empresa de Acueducto de Bogotá,” n.d.)
- Etanol 96 %: el valor para este reactivo proviene de cotización formal con la empresa Rodaquimicos con vigencia 2018, equivalente a \$7500 L.(“Bioetanol Al 96% X 1 Lt - \$ 7,” n.d.)
- Ácido clorhídrico 37%: el valor de este reactivo proviene de cotización formal con la empresa Elementos químicos con vigencia 2018, equivalente a \$ 55.000 L.(“Acido Clorhidrico 37% - A - Reactivos Nacionales - Reactivos,” n.d.)
- Energía: El costo de esta variable del sistema proviene del listado de precios al consumidor de la empresa Codensa Bogotá D.C para el año 2018, el cual es equivalente a \$549 KW/h.(“Hogares - Tarifas codensa,” n.d.) La mano de obra de acuerdo a la empresa y tipo de laboratorio en promedio el salario de un profesional (Químico) el \$ 2.500.000 El traslado de los residuos orgánicos se realizó en Uber.
- Equipos empleados en el proceso (5) plancha con calefacción y agitador (“Agitador magnético con plancha de calentamiento análogo,” n.d.) r, (1) montaje de extracción con bomba de vacío(“Bomba de vacío de pistones - bombas de vacío - equipos importados - equipos,” n.d.), (1)Horno.(“Horno digital,30 L , 31X31X30 cm, 220°C Uniformidad +_ 2°C a 120°C, Sensor Pt100 - Hornos - Equipos Nacionales - Equipos,” n.d.)
- Elementos de laboratorio (1) Erlemeyer 2000 ml, Beaker de (5) 2000 mL (5) 400 ml , (1)mortero , 50 cajas Petri, (1)termómetro ,otros,(“Vidrieria y auxiliares para laboratorio 26/02/2018,” 2018)
- Empaque plástico de 3* 7 cm y etiquetas (“500PCS 3x7cm Venta por mayor lotes Autoadhesivo de sello de bolsas de plástico _ eBay,” n.d.)
- Registro sanitario, permiso sanitario y notificación sanitaria de alimentos y/o renovación(“1_ManualTarifarioVigencia2018 INVIMA ,” n.d.)
- Para el costo del establecimiento base en un costo normal de un local de 150 m2 estrato 3

A continuación se presentan en la tabla 47 los ítems que se tuvieron en cuenta para evaluar el costo variable y el costo fijo.

Tabla 47 Relacion de los ítems a tener en cuenta para los costos variables y los costos fijos.

Ítem	Costo variable (\$)	Costo Fijo (\$)
Agua (m3)	3.790	N.A.
Etanol al 96 % (L)	7.500	N.A.
Ácido clorhídrico al 37 % (L)	55.000	N.A.
Energía (KW/h)	549	N.A.
Mano de Obra	2.500.000	N.A.
Transporte	22.000	N.A.
Empaque	8.395	N.A.
Equipos	N.A.	13.291.000
Material de laboratorio	N.A.	598.300
Establecimiento	N.A.	1.500.000
Registro sanitario, permiso sanitario	N.A.	5.156.200
Total	N.A.	20.545.500

Fuente autores

7.7.1 Granadilla (*Passiflora ligularis*) pH 1,6 – H 40 min.

El proceso de extracción de pectina para granadilla (*Passiflora ligularis*) tiene una duración de 51 horas y 30 minutos obteniendo una extracción de 250 mg de pectina en 10 kg de residuo orgánico, como se puede ver en la figura 30.

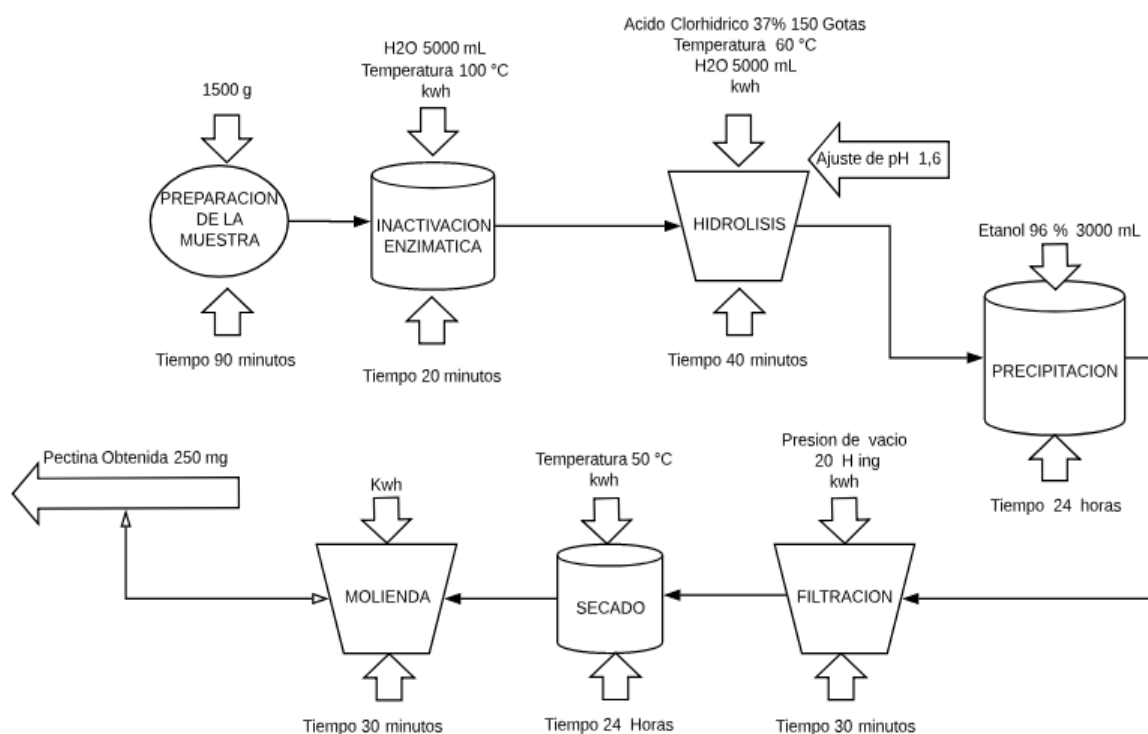


Figura 30 Balance de masa mesocarpio granadilla (*Passiflora ligularis*) (pH 1,6 Hidrólisis 40 min.)

Fuente: Autores

- Consumo de energía utilizado en el proceso fue equivalente a 26 horas (Inactivación enzimática 20 minutos /hidrólisis 40 minutos/ filtración 30 minutos/ secado 24 horas / y molienda 30 minutos).

T= Tiempo 26 horas

V= Valor de 1 Kwh 549

T= 26 Horas V= 549

$26 \text{ h} * 549 \text{ Kwh} = 14274$

El costo de energía consumida en el proceso de extracción es de \$14.274

- Consumo de agua utilizado en el proceso el cual fue equivalente a 10000 mL.

C= Consumo 10000 mL

V= Valor 3790 m^3

$$C = 14000 \text{ mL} \quad V = 3790 \text{ m}^3$$

$$1.0 \text{ m}^3 = 1.000.000 \text{ mL}$$

Para convertir las unidades de mL a m^3

$$\left(10000 \text{ mL} * \frac{1.0 \text{ m}^3}{1.000.000 \text{ mL}} \right) = 0.01 \text{ m}^3$$

$$0.01 \text{ m}^3 * 3790 = 38$$

El valor del agua consumida para el proceso de extracción es de \$ 38

- Ácido clorhídrico 37% utilizado en el proceso es de 150 Gotas

C= Cantidad 150 Gotas

V= valor \$ 55.000 L

1 mL (mililitro) \approx 20 gotas

1 L (Litro) \approx 1000 mL

$$150 * \frac{1 \text{ mL}}{20} = 7.5 \text{ mL}$$

Se consumió 7.5 mL de ácido clorhídrico al 37 % en el proceso de extracción

$$55.000/1000 = 55$$

El costo de cada ml de ácido clorhídrico al 37 % es de \$55

$$55 * 7.5 \text{ ml} = 413$$

El costo total del ácido Clorhídrico al 37 % es de \$ 413

- El consumo total de Etanol 96 % 3000 mL para el proceso de extracción

C= Cantidad 3000 ml

V= Valor 7500 L

1 L (litro) \approx 1000 mL

$$7500 / 1000 = 7.5$$

Cada ml tiene un costo de \$ 7.5

$$7.5 * 3000 \text{ ml} = 22.500$$

El costo de los 3000 ml etanol al 96 % es de \$ 22.500

- El tiempo total del proceso tuvo una duración de 51.3 horas teniendo en cuenta que hay tiempos no ejecutados en presencia del realiza la labor como lo son el secado y la precipitación; por tanto para el costo de mano de obra solo se evalúa en base a los proceso de preparación de la muestra, inactivación, hidrólisis, filtración y molienda equivalentes a 3.3 horas

V= Costo del químico 2.500.000 (mensual laborando 10 h en el día)

T= Tiempo 3.3 horas (laboradas)

$$V = 2.500.000 \quad T = 5.4 \text{ horas}$$

$$2.500.000 / 30 = 83.333$$

$$83.333 / 10 = 8.300$$

El costo por hora del químico es de \$ 8300

$$8300 * 3.3 = 27.390$$

El costo de mano de obra para realizar el proceso de extracción es de

\$ 27.390

- El costo del transporte para el traslado del residuo orgánico es equivalente 22.000

C= Cantidad de pasajes 1

$$V = \text{Valor del pasaje } 22.000; \quad 22.000 * 1 = 22.000$$

El costo del transporte utilizado para el traslado del residuo es de \$22.000

El costo para el proceso de extracción de pectina en granadilla (*Passiflora ligularis*) en el mesocarpio para obtener 250 mg con un pH 1,6 hidrólisis 40 minutos es \$ 20.613.147 teniendo en cuenta que el costo fijo es de \$20.545.500 y el costo variables de \$ 67.647 al comparar el costo variable con la pectina comercial pectin (citrus) 250 mg cotizada en

BioScienses.sas nit. 900.222.640-1(“CR084AS,” 2014) (250 mg) \$ 445.000 se observa una diferencia de \$ 377.353 a favor de la metodología implementada (identificación grametrica).

7.7.2 Punto de equilibrio Granadilla (*Passiflora ligularis*) pH 1,6 – H 40 min.

CF = Costos Fijos \$ 20.545.500

P= Precio Unitario \$ 445.000

CV= Costos variables \$ 67.647

CT= Costo total \$20.613.147

$$Q.e = \frac{\text{Costo Fijo}}{\text{precio} - \text{Costo variable}}$$

$$Q.e = \frac{20.545.500}{445.000 - 67.647} = \frac{20.545.500}{377.353} = 54$$

La diferencia de 54 unidades es la contribución marginal en la cual a partir de esta cantidad se empezara a obtener una utilidad, como se puede observar en la figura 31.

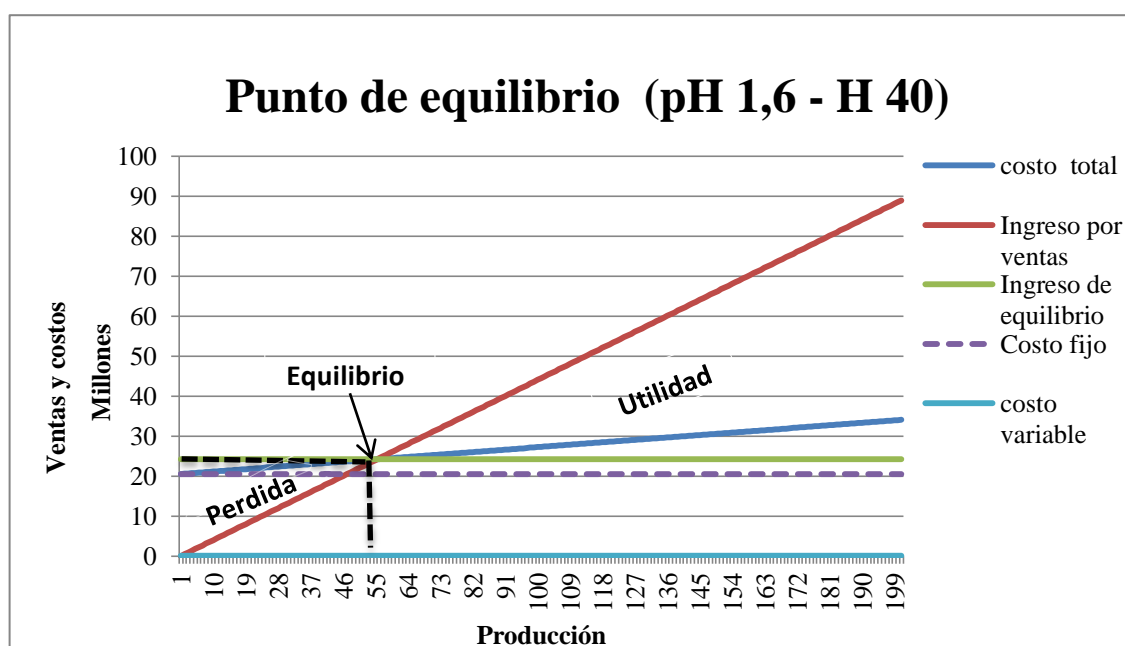


Figura 31 Grafica punto de equilibrio mesocarpio granadilla (*Passiflora ligularis*) (pH 1,6 Hidrólisis 40). Fuente: Autores

De acuerdo al punto d equilibrio obtenido en a gráfica podemos indicar que donde se interceptan las líneas de costos totales y los ingresos de ventas todo lo que esté por debajo de esta intercepción es perdida es decir que los ingresos por venta no alcanzan para pagar los costos totales y lo que este sobre el punto equilibrio a partir de las 54 unidades producidas a un costo de \$ 24.228.633 se obtiene una utilidad en el proceso.

En la tabla 48 se puede observar la relación de los costos combinados de acuerdo a las condiciones de cada proceso costo combinado

Tabla 48 Relación de los costos combinados de acuerdo a las condiciones de cada proceso.

Material	Condiciones	Tiempo total proceso (horas)	Cantidad de residuo utilizado (kg)	Costo variable (\$)	Costo Fijo	punto de Equilibrio	Ingreso Equilibrio
Exocarpio del pepino cohombro (<i>Cucumis sativus</i>)	pH 1,6 H 80	155.4	40	324.761	20.545.500	171	76038120
	pH 1,6 H 40	152.4	32	261.492	20.545.500	112	49822065
	pH 2,5 H 80	158.4	64	457.513	20.545.500	-1642	-730659914
	pH 2,5 H 40	156.2	48	364.546	20.545.500	255	113639440
Mesocarpio granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>)	pH 1,6 H 80	53.4	7	122.581	20.545.500	64	28356727
	pH 1,6 H 40	51,3	5	67.647	20.545.500	54	24228633
	pH 2,5 H 80	52,3	11	116.289	20.545.500	63	27813938
	pH 2,5 H 40	50,3	9	104.624	20.545.500	60	26860729

Fuente: Autor

De los resultados obtenidos en los balances de masa para evaluación sustancias pécticas provenientes del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y el mesocarpio granadilla (*Passiflora ligularis*), se puede observar que para las dos presentaciones en condiciones de pH 1,6 - Hidrólisis 40 y 80, generan las mejores utilidades en el proceso.

En la evaluación del mesocarpio granadilla (*Passiflora ligularis*), presenta mejores utilidades ya que los tiempos utilizados para realizar el proceso de extracción en promedio son de 51.3 horas y el costo variable en promedio es de \$102.785 logrando obtener un punto de equilibrio en promedio a las 60 unidades para 4 condiciones presentadas permitiendo generar utilidades a corto plazo, en comparación con el pepino el proceso de extracción en promedio son de 153.9 horas y el costo variable en promedio es de \$1.408.312 logrando obtener un punto de equilibrio en promedio a las -226 unidades para 4 condiciones presentadas permitiendo generar utilidades a largo plazo.

Para la evaluación del exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*), se puede evidenciar que aunque en las condiciones de pH 1,6 presenta rendimientos óptimos generando utilidades a largo plazo y en las condiciones de pH 2, 5 los resultados no son los más favorables ya en la condición con hidrólisis de 40 presenta un punto de equilibrio a las 255 unidades producidas y en las condiciones de hidrólisis de 80 presento resultados negativos indicando que este proceso no es efectivo ya que no logro obtener un punto de equilibrio donde no genere pérdidas.

8. Conclusiones

1. En el desarrollo de la investigación se logró obtener resultados óptimos en los tres métodos planteados, gravimétrico, colorimétrico y espectroscopia IR, obteniendo resultados similares y comprobando la efectividad de los tres métodos.
2. Es posible extraer pectina a partir de residuos orgánicos de exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*), tal como se observa en los resultados obtenidos durante el desarrollo del proceso de investigación, con la finalidad de conocer las mejores condiciones de acuerdo al conjunto de parámetros evaluados, para la obtención y su influencia sobre la calidad de la pectina y de esta forma evaluar las posibilidades para ser empleadas en la industria de alimentos.
3. Se logró evaluar el contenido de sustancias pécticas provenientes de residuos orgánicos del exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y el mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) obtenidas mediante la combinación de diferentes niveles de pH y tiempos de hidrólisis, encontrando que la disminución del pH produce un incremento en el rendimiento de la pectina extraída, debido al aumento de la hidrólisis de los ésteres en los grupos carboxilos esterificados.
4. El máximo porcentaje de pectina extraída a partir de exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) corresponde a una muestra obtenida a 60°C, pH 1,6 y tiempo de 40 minutos.
5. Se realizó identificación fisicoquímica de las sustancias pécticas, estableciendo que la disminución del pH de extracción produce también una disminución del % de esterificación la cual favorece la calidad de la pectina, debido al aumento de la hidrólisis de los ésteres en los grupos carboxilos esterificados.

6. La caracterización de las sustancias pécticas obtenidas a partir de los residuos trabajados permitió identificar la pectina con el análisis de infrarrojo corroborando la presencia de pectina en las muestras trabajadas.
7. El porcentaje de esterificación varía del 71% al 87%, lo que calificaría a la pectina extraída a partir de los residuos del exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*), como de alto metoxilo, esto hace que la pectina tenga propiedades gelificantes y sea apta para el uso en la industria.
8. Con el balance de masa se pueden corroborar los resultados y rendimientos obtenidos en las extracciones realizadas, ya que la extracción de pectina en el mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*), se obtuvo un punto de equilibrio en promedio a las 60 unidades para las 4 condiciones presentadas permitiendo generar utilidades a corto plazo, y para la extracción de pectina en el exocarpio del pepino cohombro (*Cucumis sativus*), aunque tres de las condiciones presentadas se consiguió un punto de equilibrio el cual genera utilidades a largo plazo, cabe resaltar que en las condiciones de pH 2,5 hidrólisis 80 los resultados generados fueron negativos indicando que este proceso no es efectivo ya que no logro obtener un punto de equilibrio en el proceso.
9. El Impacto ambiental mejoraría ya que se identificó que cuantitativamente para el pepino cohombro (*Cucumis sativus*) se utilizó 1 kg de hortaliza para una muestra de 300 g de exocarpio y para la granadilla (*Passiflora ligularis*) se utilizó 2 kg de fruta para una muestra de 300g de mesocarpio lo cual indica que a mayor número de unidades fabricadas menor el impacto ambiental de residuos orgánicos.

9. Recomendaciones

- Es necesario mantener agitación constante para asegurar el contacto del agua acidulada con el mesocarpio y el exocarpio, de esta manera se obtienen mejores rendimientos.
- Para un mejor aspecto en la coloración de la pectina se recomienda hacer lavados sucesivos disolviendo la pectina en agua acidulada (pH 1,6 y 2,5), y precipitarla nuevamente ya que la coloración de las pectinas es una limitante del empleo a nivel industrial.
- Es necesario controlar el pH durante la fase de hidrólisis debido a la agitación genera variaciones de pH durante este proceso, el cual influye de manera importante para obtener los resultados óptimos en los rendimientos.
- Realizar pruebas de Benedict y Fehling para determinar azúcares antes de procesar las muestras, incluyendo una fase adicional en la metodología que permita separar los azúcares derivados de la glucosa.
- Evaluar el efecto de diferentes estados de descomposición de la materia prima sobre las variables evaluadas con el fin de determinar parámetros permisibles para la obtención de productos pécticos comercializables.

10. Referencias Bibliográficas

- Abid, M., Renard, C. M. G. C., Watrelot, A. A., Fendri, I., Attia, H., & Ayadi, M. A. (2016). Yield and composition of pectin extracted from Tunisian pomegranate peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 93, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.08.033>
- Acido Clorhídrico 37% - A - Reactivos Nacionales - Reactivos. (n.d.).
- Agitador Magnético con Plancha de Calentamiento Análogo. (n.d.).
- Aparicio, C. C. de, Ferrer, A., Ferrer, B. de, Peña, J., & Cedeño, M. (1996). Extracción y caracterización de pectina en limones injertados de la región Zuliana. *Revista de La Facultad de Agronomía*.
- Art, A. (2011). Moléculas pécticas: extracción y su potencial aplicación como empaque, V(2).
- Asquieri, R., Evandro, M., De, A., Boas, B. V., & Valério, E. (2012). Study of the shelf-life of a mixed araçá (*Psidium guineensis* Sw .) and marolo (*Annona crassiflora* Mart .) jam.
- Aza Espinosa, M. E., & Méndez Arellano, M. A. (2011). Extracción de pectina de nopal (*Opuntia Ficus Indica*) por medio ácido aplicando dos niveles de temperatura, tiempo y estado de madurez, 116.
- Bioetanol Al 96% X 1 Lt - \$ 7. (n.d.).
- Bomba de Vacío de Pistones - Bombas de vacío - Equipos Importados - Equipos. (n.d.).
- Burana-osot, J., Soonthornchareonnon, N., Chaidedgumjorn, A., Hosoyama, S., & Toida, T. (2010). Determination of galacturonic acid from pomelo pectin in term of galactose by HPAEC with fluorescence detection. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.001>
- Canché-Escamilla, G., De Los Santos-Hernández, J. M., Andrade-Canto, S., & Gómez-Cruz, R. (2005). Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano. *Informacion Tecnologica*. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642005000100012>
- Cerón-Salazar, I., & Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja. *Ingeniería Y Ciencia - Ing.cienc.*, 7(13), 65–86. Retrieved from <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/401>
- Cerón Salazar, I., & Cardona Alzate, C. A. (2011). Integral evaluation process for obtaining pectin and essential oil from orange peel. *Ingeniería Y Ciencia*.
- Certification, agricultural waste, organic production, herbal medicine and biotechnology in the conception of farmers of the State of Goiás. (n.d.).

- Chacín, J., Marín, M., & D'Addosio, R. (2010). Evaluación del contenido de pectina en diferentes genotipos de guayaba de la zona sur del Lago de Maracaibo. *Multiciencias*. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/904/90415596002.pdf%5Cnhttp://produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/multiciencias/article/view/16796>
- Chaparro, s., márquez, r., sánchez, j., vargas, m., & gil, j. (2015). extracción de pectina del fruto del higo (*opuntia ficus indica*) y su aplicación en un dulce de piña. *Manuales*, 18(2), 435–443. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v18n2/v18n2a17.pdf>
- Claudia, M., & Mora, H. (2017). Aprovechamiento De La Cascara De Gulupa Como Fuente De Pectina Para La Industria Alimentaria, 1–82.
- Colombian biodiversity, an opportunity for the strengthening of the pharmaceutical and cosmetic industries. (n.d.).
- Comunicación _ Conicet. (n.d.).
- Con, e. d. e. l. p., campo-vera, y., villada-castillo, d. c., & meneses-ortega, j. d. (2016). pectina contenida en el albedo del maracuyá (*passiflora edulis*) effect of the pre-tratamiento with ultrasound in the extraction of pectin contained in the albedo of the maracuyá (*passiflora edulis*) efeito de pre-tratamiento com contida em albedo, 14(1), 103–109. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)103-109](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)103-109)
- Contribuci, U. N. A., & Geotrichum, U. N. A. E. D. E. (2014). Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62031166006>.
- Corona, V. M. (2013). Residuos Orgánicos. *A Limpiar El Mundo*, 1.
- CR084AS. (2014), (137), 2014.
- Curbelo Hernandez, C., Moreno Quintero, M. E., Ramirez Hernandez, D., & Crespo Zafra, L. (2016). Hidrólisis Ácida Del Bagazo De Aloe Vera (Sábila) Para La Obtención De Pectina, 44, 22. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n2/caz03217.pdf>
- D'Addosio, R., Páez, G., Marín, M., Mármol, Z., Ferrer, J., Badui Dergal, S., ... Gary, C. (2008). Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.024>
- De, G., Correa, C., Garza, Y., Rodríguez, J., & Noé, C. (1999). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47543203>.
- Determination of the uronic acid content of plant cell walls using a colorimetric assay.pdf. (n.d.).
- Edith, D., Soler, M., Edith, D., & Soler, M. (2016). amazónicos mediante un proceso asistido por microondas Extracción de pectina de frutos amazónicos mediante un proceso asistido por microondas.

Empresa de Acueducto de Bogotá. (n.d.).

Escalante, M., Santos, I., Rojas, L. B., & Velásquez, C. L. (2012). Aprovechamiento de desechos orgánicos: 1. extracción y caracterización del aceite de semillas de naranja colectadas en expendios ambulantes de jugos. *Avances En Química*, 7(3), 181–186.

Evolución_ diabetes y los alimentos protectores. (n.d.).

Extraccion pectina pitaya . (n.d.).

Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (hmo). (n.d.).

Extracción de pectinas de vitis labrusca cv. (n.d.).

Extraccion de pectinas en mandarinas.pdf. (n.d.).

Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (. (2011).

Extracin de pectinas arandanos y frambuesa. (n.d.).

Extraction of pectin from prickly pear opuntia ficus indica and its application in the development of a pineapple sweet. (n.d.).

Factores, I. Y. (2016). y los efectos de la temporada seca .

Faria, L., Albano, K. M., & Nicoletti, V. (2017). Characterization of biopolymers and soy protein isolate-high-methoxyl pectin complex. *Polimeros*, 27(1), 62–67. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2404>

Flores, R. B., Mariños, D. C., Rodríguez, N. B., & Rodríguez, S. (2013). Agroindustrial Science, 2.

Galván Iván, A., Martínez Cristina Sarai, C., Jiménez Edith, C., & Concha José, C. (2016). Determinación De Pectina Total (Acido Galacturónico) En Pepino De Tipo Holandes, 1(1), 348–352. Retrieved from <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/3/59.pdf>

Gamboa Bandry, M. (2009). Aprovechamiento de los residuos obtenidos del proceso de despulpado del mango (*Mangifera indica* L.), de las variedades smith, tommy atkins, haden y bocado como materias primas para la obtención de pectinas, 117.

Gho, H., Od, D. G. H., & Gh, L. F. R. D. O. (n.d.).

Hogares - Tarifas codensa. (n.d.).

Horno digital, 30 L , 31X31X30 cm, 220°C Uniformidad \pm 2°C a 120°C, Sensor Pt100 - Hornos - Equipos Nacionales - Equipos. (n.d.).

Invernadero, B., & De, M. (n.d.). *Producción de*.

Ippa. (2001). IPPA: International Pectin Producers Association. Retrieved from http://www.ippa.info/types_of_pectin.htm

Journal Boliviano de ciencias - bobtención de pectina a partir de la cascara de maracuyá mediante hidrólisis ácida-b. (n.d.).

La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L. (n.d.).

Lozano-Grande, M. A., Valle-Guadarrama, S., Aguirre-Mandujano, E., Lobato-Calleros, C. S. O., & Huelitl-Palacios, F. (2016). Films based on hawthorn (*Crataegus* spp.) Fruit pectin and candelilla wax emulsions: characterization and application on *Pleurotus ostreatus*. *Agrociencia*, 50(7), 849–866. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30248292006>

Marcon, M. V., Vriesmann, L. C., Wosiacki, G., Beleski-Carneiro, E., & Petkowicz, C. L. O. (2005). Pectins from apple pomace. *Polímeros*. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282005000200012>

Martínez-trujillo, a., aranda, j. s., gómez-sánchez, c., trejo-aguilar, b., & aguilar-osorio, g. (2009). fp-500 and their modulation by ph and carbon source, 40–47.

Medellín, E. N., Sur, Y. E. L., Valle, D. E. L., Aburrá, D. E. L., Yepes, S. M., Johana, L., ... Sánchez, F. O. (2008). 1 ; 2 3, 61(1), 4422–4431.

Medina D., P., & Lopez R., Á. (2011). Analisis crítico del diseño factorial 2K sobre casos aplicados. *Scientia Et Technica*, XVII(47), 101–106. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327018>

metodo de extracion de pectina manzana. (n.d.).

Nacional, U., Centro, D. E. L., & Perú, D. E. L. (2013). Universidad nacional del centro del Perú.

Optimization of aqueous pectin extraion from .pdf. (n.d.).

Ortiz, B. L., & Anzola, C. (n.d.). Resumen Resumo Química Orgánica y Bioquímica Estudio del efecto fisiológico Estudio do efeito fisiológico pelo consumo de arepas extraída da casca de curuba Introducción Materiales y métodos Extracción de la pectina Productos, (45).

Pagan, J., & Gilabert. (1999). Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. *Alicante : Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes*, 1999, 1–138. <https://doi.org/84-688-3807-1>

Pectina, D. E., Frutos, P. D. E. L. O. S., Manilkara, M. D. E., Titulaci, T. D. E., Como, P., Previo, R., ... Torres, A. Z. (2017). Universidad de guayaquil.

Pectinas 1. (n.d.).

Piedade, D. S., Maria, S., Meletti, M., Maria, L., Salgado, J. M., Aparecida, T., ... Meletti, M.

- (2010). Effects of different concentrations of passion fruit peel (*Passiflora edulis*) on the glicemic control in diabetic rat.
- Primo Yúfuera, E. (2007). Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria - Eduardo Primo Yúfera - Google Libros. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=aU_aBXvAB3MC&pg=PA1020&dq=fosfatasa+acida+ph+optimo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiLkoOV3sfPAhXFbSYKHdbTBYMQ6AEIIDAB#v=onepage&q=fosfatasa+acida+ph+optimo&f=false
- Proposal, A. S., Environmental, F. O. R., Assessment, I., & Development, O. F. (2009). Una propuesta estadística para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo, 62(1), 4937–4955.
- Punto de equilibrio. (n.d.).
- Química, D. de I. (2010). Espectroscopia Ultravioleta - Visible. *Universidad Carlos III de Madrid*, 1–9.
- Ramos, d., & terry, e. (2014). generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas review generalities of the organic manures: bocashi's importance like nutritional alternative for soil and plants. *inca*, 35(4), 52–59. retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n4/ctr07414.pdf>
- relationship between the folk uses of the granadilla plant (*passiflora ligularis* juss) and its phytochemical composition. (n.d.).
- Rojas, J. F. (2016). Colombia entierra millones de pesos por no reciclar. *El Colombiano*. Retrieved from <http://www.elcolombiano.com/especiales/que-hacer-con-la-basura/colombia-entierra-millones-de-pesos-por-no-reciclar-FD3410601>
- S, d. e. a., ácida, h., frutos, e. n., & huconcellea, d. e. m. (n.d.). universidad na <: ional “toribio rodríguez de mendoza .”
- Salazar, A., & Gamboa, A. (2013). Importancia de las pectinas en la dinámica de la pared celular durante el desarrollo vegetal. *REB. Revista de Educación Bioquímica*.
- Salvador, u. d. e. e. l., arquitectura, f. d. e. i. y., en, p., mieles, a., beneficiado, d. e. l., ivette, j., & palma, g. (2009). “ evaluacion del rendimiento de extraccion de procedentes de desmucilaginado mecanico .”
- Santander, N. De. (2015). Recibido 23 de Julio 2015; aceptado 25 de octubre de 2015, (2), 145–153.
- Seguimiento, g., & agua, d. (2007). Instituto De Hidrologia, Meteorología Y Estudios Ambientales. *Ideam-Meteo*, 8(32), 1–10. Retrieved from http://www.fing.edu.uy/imfia/cursos/hidrometria/material/Guia_de_Monitoreo.pdf
- Seminario Regional de Consulta sobre situacion actual del beneficiado de . (n.d.).

Silva, N. C., Benites, E. A., & Gomero, J. C. M. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, (26), 175–199. <https://doi.org/ISSN 1025-9929>

Ultrasonic degradation of sweet potato pectin and its antioxidant activity - ScienceDirect. (n.d.).

Universidad eafit, r. d. (2012). revista universidad eafit. *Revista Universidad EAFIT*, 38(126), 47–55. Retrieved from <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/947>

Vasquez, R., Ruesga, L., Daddosio, R., Páez, G., & Marín, M. (2008). Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (Musa AAB, subgrupo plátano) clon Hartón. *Revista de La Facultad de Agronomía (LUZ)*. Retrieved from http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-78182008000200008&script=sci_arttext%5Cnpapers://bfb735b2-7a9b-47f1-b986-223dfb0fe8c3/Paper/p1433

Vidrieria y auxiliares para laboratorio 26/02/2018. (2018), 1–15.

William glademir nina paucar. (2017). análisis y determinación de la temperatura y tiempo en la extracción ácida de la pectina del sancayo (*Lobivia maximiliana*)”. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3894/Nina_Paucar_William_Glademir.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zouambia, y., ettoumi, k. y., krea, m., & moulai-mostefa, n. (2017). original article a new approach for pectin extraction : electromagnetic induction heating. *arabian journal of chemistry*, 10(4), 480–487. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.11.011>

1_ManualTarifarioVigencia2018 INVIMA . (n.d.).

500PCS 3x7cm Venta por mayor lotes Autoadhesivo de sello de bolsas de plástico _ eBay. (n.d.).

11. Anexos

11.1 Curva de calibración

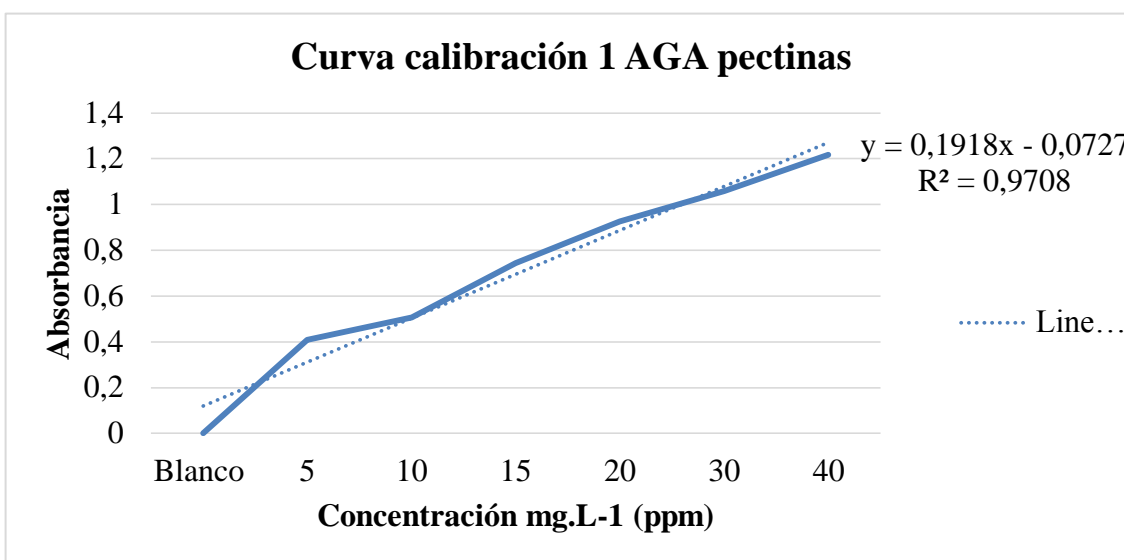


Figura 32 Curva de calibración 1 AGA pectinas.

Fuente: Autor.